

# أصل الحياة

تأليف: بول ديقيز

ترجمة: هنير شريف

مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد







أصل الحياة

المركز القومي للترجمة

إشراف: جابر عصفور

— العدد: 1472

— أصل الحياة

— بول ديفيز

— منير شريف

— عادل يحيى أبو المجد

— الطبعة الأولى 2010

هذه ترجمة كتاب :

*The Fifth Miracle*

*By: Paul Davies*

*Copyright © 1999 by Orion Productions*

*All Rights Reserved*

---

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمركز القومي للترجمة

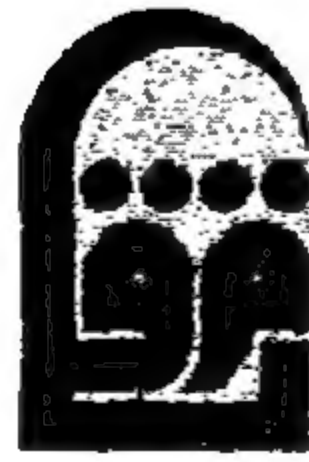
شارع الجبلية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ - ٢٧٣٥٤٥٢٦ - فاكس : ٢٧٣٥٤٥٥٤

EL- Gabalaya st., Opera House, El Gezira, Cairo

e.mail:egyptcouncil@yahoo.com Tel.: 2735424 – 2735426 Fax: 27354554

# أصل الحياة

تأليف: بول ديفيز  
ترجمة: منير شريف  
مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد



2010

بطاقة الفهرسة  
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية  
إدارة الشئون الفنية

ديفيز، بول  
أصل الحياة / تأليف : بول ديفيز، ترجمة: منير شريف،  
مراجعة وتقديم: عادل يحيى أبو المجد ؛  
ط ١ - القاهرة : المركز القومي للترجمة ، ٢٠١٠  
٥٦٤ ص، ٢٤ سم  
١- أصل الحياة  
٢ - النشوء والارتقاء  
(أ) شريف، منير ( مترجم )  
(ب) أبو المجد، عادل يحيى ( مراجع ومقدم )  
(ج) العنوان  
٥٧٦,٨٣

رقم الإيداع : ١٣٧٩٦ / ٢٠٠٩  
الترقيم الدولي : 7 - 458 - 479 - 977 - 978 - I.S.B.N  
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

---

تهدف إصدارات المركز القومي للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

## المحتويات

11	.....مقدمة المراجع
13	.....تصدير المترجم
17	.....مقدمة المؤلف
39	.....الفصل الأول: معنى الحياة
42	.....• الأصل الغامض للحياة
48	.....• ما الحياة؟
54	.....• قوة الحياة، وملاحظات غير قابلة للتصديق
59	.....• قصة الجزىء القديم (الأول)
63	.....• الميكروبات والبحث عن جنة عدن Eden
71	.....الفصل الثاني: عكس اتجاه المد
72	.....• مبدأ الفساد أو التفسخ
80	.....• من أين تجيء المعرفة البيولوجية؟
86	.....• الفجوة الأنثروبوية: الجاذبية كمنبع رئيسى للنظام
99	.....الفصل الثالث: الخروج من الوحل
101	.....• شجرة الحياة
101	.....• الميادين الثلاثة للحياة
112	.....• أقدم أحفورة صخرية
116	.....• تلقائية أو عفوية التكاثر
122	.....• إعادة إنشاء «الشورية» البدائية أو الأصلية
133	.....• المصادفة وأصل الحياة
141	.....الفصل الرابع: الرسالة التى تبعث بها الآلة
144	.....• ضاعف ثم ضاعف
149	.....• صنع الحياة
155	.....• الشفرة الوراثية (الجينية)
162	.....• تلقى الرسالة
165	.....• شفرة داخل الشفرة



179	..... الفصل الخامس: متناقضة البيضة والفرخة.
180	..... • الرنا RNA فى البداية.
190	..... • الرنا RNA فى النهاية.
197	..... • التنظيم الذاتى: شىء من لا شىء.
201	..... الفصل السادس: الترابط الكونى.
209	..... • الغبار النجمى فى عينيك.
212	..... • الكيمياء الكونية.
215	..... • التكوّن أو النشوء عبر الفضاء.
220	..... • تأثير الصدمات.
221	..... • تأثير «سيزيف» Sisyphus.
225	..... الفصل السابع: الحشرات العظمى.
239	..... • البعض يفضلونها ساخنة.
242	..... • الحياة تحت العالم المرئى.
248	..... • الصعود من «هاديس» "Hades".
256	..... • دعهم يأكلون «الصخور».
263	..... • ويبقى التاريخ.
275	..... الفصل الثامن: المريخ: هل يصطبغ باللون الأحمر ويموت؟
277	..... • مكان سيئ لقضاء إجازة.
282	..... • الفيضان.
288	..... • أثر الدقيئه المريخية.
292	..... • هل كانت ثمة حياة على المريخ؟
296	..... • هل لا تزال هناك حياة على المريخ؟
300	..... • الأحجار النيزكية القادمة من المريخ.
304	..... • دلالات لوجود حياة؟
314	..... • للطاعون القاتل القادم من الكوكب الأحمر.
321	..... الفصل التاسع: «بانسبيرميا» "Panspermia" (البذور فى كل مكان) ..
329	..... • البقاء حيًا فى الفضاء.
333	..... • هل جاءت الحياة للأرض عبر الأحجار النيزكية؟



- 336 • هل أتت الحياة الأرضية من المريخ؟.....
- 348 • هل تذهب الحياة الأرضية إلى المريخ؟.....
- 363 الفصل العاشر: الكون المتعاطف بيولوجيًا أو (إحيائيا).....
- 366 • هل سبق أن بدأت الحياة؟.....
- 369 • هل زودتنا قوانين الطبيعة بأسباب الحياة؟.....
- 378 • هل هي "الدارونية" "Darwinism" دائمًا وعلى  
..... طول الخط؟.....
- 386 • سلم الارتقاء.....
- 395 • هل العقل محتوم بالقضاء والقدر؟.....





**فی ذکری «کیث رونکوم»**

**"Keith Runcom"**





## مقدمة المراجع

مؤلف هذا الكتاب - بول ديفيز - من كبار علماء الفيزياء النظرية وله مئات الأبحاث في هذا المجال، كما أنه ألف عشرات الكتب التى يبسط فيها النظريات الفيزيائية والفلكية، وترجم بعضها إلى العربية، لكنه فى هذا الكتاب اختار موضوعًا بعيدًا عن تخصصه - وهو أصل الحياة - هذا وإن دخلت الفيزياء النظرية بعضًا من شعابه. وقد درس المؤلف عديدًا من المراجع والأبحاث عن مختلف أشكال الحياة على سطح الأرض، وفى أعماق محيطاتها وتلك التى ربما أنت مع النيازك من الفضاء الخارجى، محاولاً الإجابة عن الأسئلة، التى طالما شغلت اهتمام العلماء والفلاسفة وغيرهم من قادة الفكر ورجال الدين عن كيفية نشأة الحياة والصور التى سرت بها.

ويبين المؤلف فى هذا الكتاب أن نظرية النشوء والارتقاء قد تطورت بدورها بدءًا من التفكير الساذج بأن أشكال الحياة نشأت عشوائيًا وتطورت من أشكال أقل تكيفًا مع البيئة إلى أشكال أكثر تكيفًا إلى التفكير الأكثر اتفاقًا مع الرياضيات الحديثة، وهو التطور نحو المزيد من التعقيد - وأن هذا الاتجاه فى التطور ليس بالاتجاه الوحيد، فهناك أمثلة عديدة تتنافى مع ذلك الاتجاه - كما استعرض المؤلف المناقشات حول ما إذا كانت الحياة نشأت خارج الأرض، وربما خارج النظام الشمسى كله، وهل نحن وحدنا فى الكون أو أنه توجد حيوات أخرى ربما أكثر تقدمًا منا؟

وترجم هذا الكتاب - منير شريف - الذى حصل (من بين درجات علمية أخرى مساوية) على ليسانس فى الفلسفة، وترجم العديد من الكتب عن أصل الكون وفيزيائه - بعضها للمؤلف الحالى - لكنه جديد أيضًا على البحث فى أصل الحياة،

مما جعله يبذل مجهودًا مضاعفًا عند ترجمة هذا الكتاب، وذلك بالبحث في أمهات الكتب عن بيولوجيا الحياة وكيميائها. فأضاف تذييلات كثيرة زادت الكتاب وضوحًا.

وإننى أرى أن عدم تخصص المؤلف والمترجم - والمراجع أيضًا - فى العلوم البيولوجية، جعل الكتاب الذى بين يدى القارئ أكثر بساطة وإمتاعًا، خاصة بالنسبة لغير المتخصصين الذين يريدون التعرف على أحدث النظريات فى هذا المجال المهم والجديد.

د. عادل أبو المجد

أستاذ الفيزياء - جامعة سيناء

يناير ٢٠٠٩



## تصدير المترجم

سؤال قديم ومتجدد شغل بال الإنسان منذ بدء الخليقة ومنذ هبّ واقفاً على قدميه «من أين جاء؟ وبالتالي كيف سارت به الحياة على هذا الكوكب؟» وتتوالت الإجابات ما بين البسيطة والعميقة من آراء دينية وفلسفية وعلمية وعبر سائر الحضارات: مصر القديمة والصين وبابل وآشور واليونان وغيرها، كما حفلت علوم الكلام الإسلامية بمباحث عدة في هذا الخصوص، كما حثنا القرآن العظيم على «النظر»، «كيف بدأ الخلق؟» ليزداد إدراكنا بعظمة الله سبحانه وتعالى وأن «ليس كمثله شيء». ولست هنا في مجال بحث كيف توقف «النظر» في الشرق ونما بخطى حثيثة متسارعة في الغرب إلى أن وصل إلى ذراه الحالية والتي مكنته من الهيمنة على العالم بأسره على نحو أو آخر.

ولست أيضاً في مجال تمحيص القول بأن ثمة ميدانين، أحدهما يختص بالعقيدة، والآخر يقتصر على العلم وينفصلان عن بعضهما البعض تماماً فلا يحدّ أيهما الآخر بأي حد إن سلّياً أو إيجاباً (وهو رأى شائع لدى جمهرة غير قليلة من العلماء الموثوق بهم) أو الرأى المعاكس الذي يرى أنهما متصلان، يكمل كل منهما الآخر، حتى إن عدداً غير قليل من الثيولوجيين يستخرجون ما ينم عن «العلم» بمعناه الحديث والمعاصر من بين ثنايا آيات القرآن، إن بحق أو عن طريق لى المعانى ودلالة الكلمات، وهو ما يشيع على نحو باطنى غامض لدى أكثر المتدينين وبين جمهرة المشايخين لأى دين آخر سماوى أو غير سماوى... ليس هذا إذن موضوعنا الحالى إنما فقط أشير إلى مقولة ردها يوماً واحداً من بين القمم فى العلم والذي جابت شهرته الآفاق ألا وهو «أينشتاين» إذ ذكر ما معناه: أن الدين من دون علم سيكون مُعَوِّفاً وأن العلم من دون دين سيكون فاقداً للمعنى.

ولكى أمهد لهذا الكتاب أقول إن العلم فى مسيرته، والتى بلغت أقصى سرعاتها منذ مشارف النصف الثانى من القرن العشرين حتى إنه يقال إن ما حصلته البشرية من علم فى النصف الأخير من القرن الماضى وحتى الآن يبلغ أضعاف ما حصلته على مدى عمرها كله. كما صاحب هذا التقدم تقدم آخر، دعم الأول ودفع بسرعه وهو الذى جرى فى ما نعرفه من وسائل العلم وأجهزة القياس. وكان على السطح من مجالات البحث: «أصل الكون» (وقد تناوله المؤلف ذاته فى كتاب له، قمت بترجمته من قبل بعنوان عربى: «الاقتراب من الله» منذ سنوات قليلة ولكنه مازال قيد النشر) ثم «أصل الحياة» الذى هو موضوع الكتاب الحالى، ولن أمل القول بأنه مهما بدا مستغرباً لدى القارئ المصرى/ العربى من تناول هذه الموضوعات من خلال العلم على مدى السنوات، بما فيها من إنفاق أموال طائلة وساعات بغير حصر ينفقها العلماء فى جهد جهيد، بينما ثمة إجابة تمام فى حوض التفسير السهل لمقولات الدين، والتى يستريح إليها أغلب الناس فى بلادنا ألا وهى: أن الله سبحانه قد خلق الكون والناس على ما هما عليه، وفى ذلك الكفاية، فلماذا هذا الجهد فى أمر لا ينفع؟! وأعنى بذلك المبدأ الفلسفى «السبب الكافى».

أقول مهما بدا ذلك غريباً فلن أمل القول بشأن أمرين: فمن ناحية أن الله يأمرنا بالبحث فى أصل الخلق: ﴿قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ بَدَأَ الْخَلْقَ ثُمَّ اللَّهُ يُنشِئُ النَّشْأَةَ الْآخِرَةَ إِنَّ اللَّهَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ﴾ الآية «٢٠» «سورة العنكبوت»، وغيرها من الآيات التى تدور حول نفس المعنى، وعلى الناحية الأخرى فإنك بنظرة متأمله قليلاً حولك ستجد أن أغلب التقنيات - العديدة والتى يصعب حصرها - التى تنعم بها البشرية قاطبة، قد تولدت من رحم هذا «الأصل» كوناً كان أو بشراً. وإذا حاولت أن أعدد، ليس كل وإنما بعض، أهم هذه التقنيات فستضيق عنها صفحات هذه المقدمة، ولكن أكتفى بذكر أحدثها وأقصد به «الخلايا الجذعية» وكيف فتحت الباب واسعاً أمام العلماء للتوصل إلى الحد من أمراض ظلت لسنوات، بل قروناً طويلة، مستعصية على العلاج.



ماذا إذن عن صاحب الكتاب وموضوعه؟ هو عالم بريطاني جهبذ في الفيزياء، أنجز درجته العلمية (دكتوراه الفلسفة في الفيزياء) وحاز على شهرة عالمية عبر ما تقلده من مناصب أكاديمية في الجامعات الكبرى وأكثر من ٤٠٠ ورقة بحثية منشورة في المجلات العلمية المحكمة، وأكثر من ٢٥ كتابًا في العلوم (ترجمت لأكثر من عشرين لغة، من بينها العربية - ثلاثة كتب فقط في حدود علمي)، هذا فضلاً عن تقلده عدة جوائز علمية مهمة وظهوره المدوّى في مؤتمرات علمية وبرامج تليفزيونية، بعضها أعده بنفسه وحظى بقبول جماهيري عريض. وفي عام ١٩٩٠ هاجر من بريطانيا إلى أستراليا، مركزاً جهده في علوم «الكونيات» وحيث يشغل حالياً مستشاراً علمياً للمعهد الأسترالي لـ: البيوفلك: وهو فرع مستحدث في العلوم يعنى بالحياة في الفضاء الخارجي، وكان آخر كتبه بعنوان «كيف تبنى آلة زمن» (قمت بترجمته أيضاً، وقيد النشر) وثمة استعراض عاجل لسيرته الذاتية بتفصيل معقول بذيل الكتاب.

آلى المؤلف على نفسه - والذي يمثل أيضاً جزءاً من شهرته العلمية - أن ينزع في كثير من كتبه بل أغلبها إلى تبسيط العلوم والحرص على نقل أعقد ما فيها إلى أسلوب سهل فهمه للقارئ العام، بحيث تنمو معرفته عن الكون حوله، ومن ثم يُستكمل إدراكه للعلاقة بينه وبين هذا الكون - ويتجسد ذلك كله في هذا الكتاب الذى صال وجال فيه في موضوع «أصل الحياة» وكيف ثم تناوله شرقاً وغرباً وشمالاً وجنوباً سواء دينياً أو علمياً، وبموضوعية وحيدة بالغتين، وانتهاءً إلى ما تم الكشف عنه مؤخراً من كائنات ميكروسكوبية تعيش وتزدهر وتتوالد في ظروف لم تكن تخطر على البال من قبل كدرجات حرارة تبلغ ١٨٠ درجة عند فوهات براكين أعماق المحيطات أو في درجات برودة قصوى أسفل جلاميد الثلج في قارة أنتاركتيكا بالقطب الجنوبي المتجمد من الكرة الأرضية، أو أقرانها ممن يتغذى على القار وحده أو الأسمنت أو الكبريت وهلم جرا، مما استدعى السؤال مجدداً من أين بدأت المسألة وكيف وهل ثمة حياة ذكية في أكوان أخرى باعتبار أن

كوكب الأرض هو واحد من الكواكب المحدودة في النظام الشمسى الذى هو واحد من بلايين عدة من الأنظمة الشمسية فى مجرتنا وحدها (درب النبانة أو ما يسمى أحياناً: الطريق اللبنى)، والتى هى بدورها واحدة من بلايين المجرات التى يزخر بها الكون؟ ولعل القارئ المتابع يدرك أن وكالة «ناسا» الشهيرة تقوم حالياً بإجراء بعض الاستقصاءات العملية لهذا الشأن بواسطة العربات الروبوتية التى تبتعثها إلى كوكب المريخ والتى تقوم باستكشاف أعماق سطح «المريخ»، ثم تحلله وتبعث بالنتائج والصور إلى الأرض. ثم لعل أشير أيضاً إلى ما يقوم به حالياً معهد CERN بسويسرا من إعادة إجازيه للظروف التى تم فيها «الانفجار الكبير» لمحاولة تفسير كيف تشكل الكون ومن أين جاءت المادة التى تملأه. وإلى آخره. «هل لى هنا أن أستشهد مرة أخرى بمقولة معروفة لأينشتاين: أريد أن أرى الطريقة التى صنع الله بها الكون».

وأختتم بحمد الله والثناء عليه أن مكننى من نقل هذه المعرفة وهذا النوع من التفكير للقارئ العربى - وهو وحده ولى التوفيق.

المترجم: منير شريف

نهايات صيف ٢٠٠٧

## مقدمة المؤلف

ثمة واقعة محورية في تاريخ العلم، برزت مع نشر الأطروحة المبهرة لتشارلز دارون Charles Darwin تحت عنوان: «أصل الأنواع» "On the Origin of Species"<sup>(١)</sup>. في العام ١٨٥٩. أعطى هذا العمل اقتناعًا لدينا عن كيف برزت الميكروبات عبر التدفق الهائل للزمن على هذا النحو المتنوع الذي نراه على الأرض في يومنا هذا. إلا أن دارون أغفل الإشارة إلى: كيف بدأت الحياة في المقام الأول. «المرء أيضًا له أن يتأمل ويفكر حول أصل المادة» هكذا علق هو. اليوم فإن الفيزيائيين قدموا على نحو ما شرحًا أو تفسيرًا لأصل المادة، ولكن أصل الحياة<sup>(٢)</sup> بقي واحدًا من التحديات الكبرى للعلم. وقد ألمح مرة فرانسيس كريك Francis Crick المكتشف المشارك لبناء الـ DNA إلى: «يبدو أنها تكاد تكون معجزة، لوفرة المشاركات التي من الممكن أن تجعل الحياة مستمرة في السريان».

في داخل «قشرة جوز»، تلك هي المشكلة. كيف لخليط من الذرات غير ذات أهداف والعمياء، أن تحتشد أو تجمع ذواتها في شكل تعقيد من شأنه أن يوقع الروح في النفس حتى في أبسط تشكّل كالميكروب مثلاً؟ هل هي مجرد حادثة حدثت مرة واحدة في الكون كنتيجة لتركييب كيميائي غريب؟ أو أن قوانين الطبيعة كانت متعاطفة بيولوجيًا، بحيث إن الحياة سوف تظهر في أي موقع من الكون يبرز فيه كوكب شبيه بكوكب الأرض؟

التصديق بأن الحياة محفورة أو متجذرة في قوانين الطبيعة، يحمل صدى من العصر الديني البعيد، عن كون مُصنَّم بحيث تسكنه الكائنات الحية. وعديد من العلماء لا يعطون بالألمثل هذه الأفكار ويصرّون على أن بدء الحياة كان مجرد واقعة صدقوية كيماوية غير استثنائية، وتخص الأرض وحدها، وأن ظهور نتائجها



فى هذا التعقيد العضوى، ومن بينها الكائنات الواعية يشبه مصادفة بحتة ناتجة عن جزيء هائل فى عملية «يا نصيب». ويصر آخرون من ناحية أخرى، على أنه لا شىء يميز الأرض وحدها وإن الحياة منتج ثانوى لا يمكن تجنبه من عمل الفيزياء والكيمياء. وليس هناك أحسن من يتصدر وجهة النظر هذه، سوى البيولوجى كريستيان دى دوف **Christian de Duf** والذى يعتقد أنه «أمر كونى» عليه أن يظهر جليًا عندما تسمح له الظروف أو المشارطات بذلك<sup>(٣)</sup>. ولو أن رأيه ذاك كان صحيحًا فإن الكون وكأنه يدخل فى مباراة مع الحياة.

وثمة كثير على المحك فى هذا الجدل أو التحدى لأنه يتعلق بموقع الإنسانية من الكون، وهل نحن وحدنا فيه أو لسنا كذلك؟ وفى أى شىء نتناسب مع الطريقة العظمى للأشياء؟ ولو أن الحياة قد ظهرت هكذا «جاهزة» فإن هناك فرصة جيدة لأن نصنعها بمجهود قليل فى المعامل. وستكون لها أيضًا تطبيقات تقنية، وثمة كثير من الكيمائيولوجيين يعملون الآن على ذلك. والصور الجديدة من الحياة ستكون بمثابة ثورة فى مجال الهندسة البيولوجية، والبيولوجيا الجزيئية، ويمكنها أيضًا «أرضنة» كواكب أخرى، أى جعلها أكثر شبهًا بالأرض، وربما تصبح فى آخر الأمر صالحة لسكنى الإنسان. هذا وإنشاء الحياة داخل «أنبوبة تجارب» سوف يذهب بعيدًا لتعرية الغطاء عن السر فى كيف بدأت الحياة بشكل طبيعى.

وتشكل دراسة أصل الحياة وتوزيعها عبر الكون جزءًا من الموضوع المعروف بـ «البيولوجيا الفلكية» **"astrobiology"**، والعلماء - وعلى نحو متزايد - يسرى بينهم التمييز بأن قصة الحياة ليست فقط فى حدود الأرض، وإنما تمتد إلى ما بين الكواكب وحتى الفضاء بين النجوم. والبحث الجاد المرهق لهذا الفرع من العلوم يتركز فى التعرف على نشوء كوكب آخر، تكون الحياة قد بدأت فيه بشكل مستقل. وثمة موافقة عامة ترشح كوكب المريخ كى يمثل هذا الأمل، ولو أنه عبر نظامنا الشمسى فإن الكوكب «أوروبا» **"Europa"**، وهو أحد أقمار المشتري، يُعد بدوره مُنافسًا مُرشحًا إلى جوار المريخ. إلا أن المريخ هو الذى يحظى حاليًا

بالتركيز عليه، وإليه توجه مهمات الفضاء الحالية أو الجارى التخطيط لها. على الرغم من أنه اليوم ليس إلا صحراء متجمدة، لكنه كان فى الماضى دافئاً ورطباً، وليس بعيد الشبه عن الأرض. ومنذ أربعة بلايين من السنين مضت، ربما كان المريخ أكثر تناسباً لسكنى الحياة أكثر من كوكبنا الحالى.

وليس واضحاً بصورة قاطعة أن الحياة الأرضية قد بدأت فعلاً فوق الأرض. ففى بواكير تسعينيات القرن الماضى اقترحت أنا، وبشكل مستقل جاي ميلوش Jey Melosh من جامعة أريزونا، أن الميكروبات الحية ربما جاءت إلينا عبر الصخور التى وصلتنا والتى نتجت عن انفجارات الكواكب وبتأثير الكويكبات (أشباه النجوم) والمذنبات. وبعض هذه الصخور قد تجد طريقها إلى الكواكب المجاورة وتزرع الحياة فيها. وبصفة خاصة، فإن الصخور التى قذفت بها المريخ ربما أتت لنا بميكروبات مريخية إلى الأرض، مخصبة لها بأول أشكال الحياة. وإذا كان الأمر كذلك، فإننا نكون جميعاً لسنا إلا أخلاف لسكان المريخ. والعكس أيضاً صحيح، أى قد تكون الصخور التى قذفت بها الأرض قد وجدت طريقها للمريخ، واستعمرته من خلال الباكثيريا الأرضية. وفى أى الاتجاهين فإنه يبدو أن الأرض والمريخ ليسا منفصلين بيولوجياً. وسواء كان أى من الطريقتين، ومهما كان الأمر مدهشاً للغاية، فإنه يثير تعقيدات لأى محاولات تأسيس نشوء ثان للحياة فوق المريخ، إذ يبدو أن أحد الكوكبين قد لوث الآخر.

ومنذ طرحنا - ميلوش وأنا - هذه الفكرة فى البدء فقد لاقت قبولاً متزايداً. هذا وقد تدعم السيناريو الرئيسى من خلال دراسة مفهومة أجراها كيرت ميلوكوسكى<sup>(٤)</sup> Curt Meleikowsky ونشرتها مجلة إيكاروس Icarus<sup>(\*)</sup>. وقد أخذ زملاؤه المشاركون فى الدراسة فى اعتبارهم كل المخاطر التى واجهت الميكروبات القادمة من المريخ إلى الأرض أو العكس، مع تركيز خاص على

---

(\*) والكلمة إيكاروس تشير فى الميثولوجيا اليونانية إلى اسم لابن ديدالوس، والذى فرّ من السجن، محلقاً بجناحين شمعين إلى حتى اقتربه من الشمس، حيث ذاب الجناحان وسقط هو فى البحر (المترجم).

الآثار التدميرية، التي يتسبب فيها النشاط الإشعاعي. وانتهوا إلى أن «سواء إن وجدت الميكروبات على المريخ مثلاً أو أنها موجودة الآن، فإن طريقاً لها إلى الأرض ليس مجرد إمكانية ولكنه احتمال كبير، انتقالها من الأرض إلى المريخ أيضاً ممكن ولكن بدرجة أقل».

واقعة جاءت بفكرة ترحال الميكروبات بين الكواكب وجعلتها بارزة على سطح هذا المجال، تتلخص في التصريح غير العادي الذي أدلى به الرئيس الأمريكي بيل كلينتون Bill Clinton في أغسطس ١٩٩٦ من أن وكالة ناسا NASA قد اكتشفت دليلاً على وجود الحياة على المريخ. والاكتشاف كان عبارة عن العثور على حجر نيزكي في قارة أنتاركتيكا Antarctica<sup>(\*)</sup> عام ١٩٨٤، والذي عرف فيما بعد أن مصدره هو المريخ. وللتأريخ فإن ثمة أكثر من عشرين عنصراً قد تم العثور عليها قدمت من المريخ تحت تأثير كوني على النجم الأحمر ودفعها من هناك إلينا. ولكن الحجر محل اهتمامنا هنا هو في حجم ثمرة بطاطس كبيرة، حافلة بملاحم رفيعة من الباكثيريا المتحجرة. هل يمكن أن تكون بقايا لميكروبات مريخية؟

أثير الجدل طويلاً لعدة سنوات دون نتيجة واضحة. فالذين قللوا من شأن هذه البقايا قالوا بأنها فقاعات في الصخرة من التكوينات المعدنية غير الضارة. والدليل الدافع جاء من أصل بيوجيني جاء بدوره من حبيبات مغناطيسية داخل بعض هذه التكوينات. والحبيبات تلك لها تشكّل نقي من الباكثيريا الأرضية التي تستخدم المغناطيسية في تحليقها أو تنقلها<sup>(٥)</sup>.

وبالرغم من أن دارون رفض أن ينقاد أو يقيد نفسه بمسألة ميكانيزم أصل الحياة، فقد أوضح في خطاب لأحد أصدقائه<sup>(٦)</sup> أن بركة صغيرة دافئة في مكان ما على السطح القديم للأرض، ربما احتضنت خليطاً كيميائياً. وبعدئذ بتأثير طاقة

---

(\*) قارة غير مأهولة تقع في القطب الجنوبي (المترجم).



ضوء الشمس تشكلت منه جزئيات أكثر تعقيداً إلا أن التخمير بطريقة ما أثمر الحياة أو كان بمثابة «حضنات» لها. وفي النهاية تحولت فكرة دارون هذه إلى النظرية المعروفة جيداً المسماة «نظرية الشورية البدائية».

وفي السنوات الأخيرة ظهرت معوقات جدية لوجهة النظر التقليدية في هذه النظرية. فنحن نعلم الآن أنه أثناء أول ٧٠٠ مليون سنة من تاريخ الأرض تساقطت عليها، وبشكل قاسٍ، نيازك هائلة ومذنبات. وأكبرها ربما تسبب في عقم أو جذب سطح كوكب الأرض بأن أحاط الكوكب برمته بغمامة من بخار الصخور المتوهجة. والبركة الصغيرة الدافئة، أو حتى البحر، لم يكن ليشكل أيهما موقعاً واعدًا للحياة وسط الاضطراب الكوني آنذاك. ولكن الآن ظهرت خيوط جديدة من الأدلة. فقد بدأ العلماء خلال التسعينيات في اكتشاف الكثير والكثير من الميكروبات التي يمكنها العيش في ظل ظروف غاية في التطرف، وهي جميعاً أصبحت تسمى الأوفيليات القصوى *extremophiles*<sup>(\*)</sup>. ومن أشهرها تلك المحبة للحرارة الشديدة والمسماة الأوفيليات فائقة الهيام بالنشاط الحراري *hyperthermophiles*<sup>(\*)</sup>. وأكثر هذه شهرة تلك التي تنمو في الماء المغلي المتدفق من فتحات البراكين على أرضية المحيطات والتي تزيد درجة الحرارة في بعضها على نقطة الغليان العادية للماء. ومشروعات الحفر المتعددة على الأرض تحت سطح البحر، بدورها تكشف أن الجزء القابل للسكنى في الأرض يمتد لعمق عدة كيلومترات في القشرة الساخنة للأرض. ويبدو أن الصخور تحت أقدامنا حافلة بالحياة الميكروبية.

هذا المجال الموجود تحت سطح الأرض يفتح الباب لإمكانية جديدة للحياة الباكورة. باعتبار أن ما تحت الأرض في هذا العمق، والذي يمثل مساحاتاً لمحبي الحرارة العضويين، سيكون بمثابة حماية لهم من القذف الكوني أو التراشق الكوني. وربما تكون التشكلات الأولى للحياة الأرضية قد عاشت في ذلك العمق

---

(\*) أقرب شرح لكلمة أوفيلو والتي تعني باليونانية "حب" هو أن هذه الميكروبات من محبات الحرارة أو النشاط الحراري الأقصى (المترجم).

المتقد من قشرة الأرض، ثم هاجرت بعد ذلك للسطوح الباردة فقط عندما تحسنت الظروف. وهذه النظرية يدعمها الدليل الجيني القائل بأن أقدم وأعمق فروع شجرة الحياة تشغله تلك الأوفيليات المُغَرَّمة بالنشاط الحراري الفائق **hyperthermophiles**. ومثل هذه الميكروبات لم تزل حية في أحفورياتها، ولم تزل متمسكة بأسلوب حياتها القديم بعد بلايين السنين التي مرت عليها.

هذه الاكتشافات نقلت البحث عن الحياة القديمة فوق المريخ أو القمر «أوروبا» بأمل ولو ضعيفاً للعثور على شيء حي فوقهما أو على أحدهما. هذا وقائمة المعلومات الواردة من مجسات أو مسابر الفضاء تظهر أن ثمة ماءً وافرًا فوق المريخ محبوسًا في التربة التي تشكل الجلاميد، وربما بعيدًا تحت السطح، فإن الحرارة الداخلية للكوكب قد تذيب هذه الجلاميد لتشكل جواً يحتضن الأوفيليات العضوية القصوى **extremophile** المشابهة للتي تشكلت تحت سطح الأرض.

ولأنه كوكب صغير فقد كان المريخ أسرع في برودته عن الأرض. وعليه فإن المنطقة المناسبة لمُحَبَّات الحرارة الباكرات هذه، والتي احتُمت من التراشق الكوني ستكون أعمق بالنسبة للمريخ، داعمين فكرة أن الحياة ربما ازدهرت على المريخ قبل ظهورها على الأرض بمئات بلايين السنين، وأنها ربما انتقلت إلى الأرض داخل المقذوفات الصخرية.

وامتدادًا للنظر في هذا الحقل فلقد شهدت السنوات الأخيرة اكتشاف حوالى مائة كوكب فيما وراء نظامنا الشمسي، وهذا يمثل مشهدًا ضاغطًا نحو العثور على الحياة فوق أيها. وهذه الكواكب فيما وراء النظام الشمسي قد تم سبرها على نحو غير مباشر عبر الذبذبات أو الترنحات التي تنشأ في آباطها النجوم. وهذه التقنيات كانت لصالح سبر الكواكب الضخمة التي تدور في مدارات صغيرة، وبالتالي لن تكشف عن وجود كواكب شبيهة بالأرض. إلا أن الخطط الطموح تسير على خطى قاعدة فضائية منظارية تهدف لما يعرف بـ «الكوكب الأرضي» " **Terrestrial Planet** " وبالعثور على مثل ذلك لن يتيح فقط الكشف عن كوكب صخري صغير،

ولكن سيتيح أيضا سبر التوقع المفتاح للحياة، مثل طبقة الأوزون الموجود حاليًا في الجو الأرضي.

والحديث عن الحياة فوق كواكب أخرى يفتح الطريق لمشهد آخر عن الكائنات الذكية ووجود حضارات أخرى في الفضاء المترامي، وداخل نظامنا الشمسي، فإن هدف العثور على أي نوع من الحياة أكثر تعقيدًا من الباكثيريا البسيطة هو غرض ناء وشديد البعد إلى أقصى حد. ولكن لو ثمة كرات أرضية أخرى بعيدًا في المجرة، فربما أن الحياة برزت هناك لتشكل نباتًا، وحيوانات أو حتى كائنات ذكية. ونحن ببساطة لا نعرف، ولكن من المعقول أن نلقى نظرة على الأمر. منذ أكثر من أربعين سنة قامت مجموعة صغيرة من الفلكيين بمسح السماوات عبر تليسكوبات راديوية، بأمل أن يتوصلوا أو يعثروا على إشارة ما أو رسالة قادمة من حضارة فضائية، وحتى الآن لم ينجحوا في ذلك، إذ ربما أنه لا توجد مثل هذه الحضارة، أو لو أنها موجودة فلم تبعث بأى رسالة في اتجاهنا.

ولكن شيئًا واحدًا هو الواضح، لو أن الكون متعاطف بيولوجيًا لدرجة أنه يمكن للحياة أن تنشأ بشكل جاهز بمجرد توافر شروطها، ومن ثم فإنه يوجد كثير من الوقت الذي مر لإحداث تطوير لإنتاج الذكاء في عوالم أخرى. حيث إن الشمس والكواكب قد تشكلت منذ أكثر قليلًا من ٤,٥ بليون سنة مضت، بينما الكون عمره يصل إلى ١٣ بليون سنة. ويصبح مفهومًا أن الذكاء انبثق في مكان ما في المجرة قبل وجود الأرض ذاتها.

وأصل الكون وتطوره ككل من العوامل المهمة في قصة الحياة. والدليل الفلكي يكشف أن الكون قد ولد من انفجار كبير "big bang" مصحوبًا بهبة من الحرارة الشديدة. ومنذ الثانية الأولى لهذا الانفجار ظهرت القوى الأساسية والعناصر التأسيسية للمادة. وبنهاية تلك الثانية كانت المواد الضرورية للكون قد تشكلت بالفعل. وكان الفضاء في كل مكان مملوءًا بـ «شورية» تختلط فيها عناصر تحت ذرية كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات تحيط بها إشعاعات في درجة حرارة تبلغ حوالى عشرة بلايين درجة.



وبالمستويات الحالية فإن الكون فى تلك الفترة كان من دون ملامح على نحو مدهش، والمواد الكونية كانت مبعثرة فى الفضاء تقريباً من دون هيئة أو شكل معين. والحرارة فى كل مكان هى نفسها تقريباً. والمادة مكشوفة أو عارية عن شكلها إلى حتى شكل مكوناتها الأساسية فى ظل تلك الحرارة المرعبة. أى أنها كانت فى حالة بساطة أنيقة. وأى ملاحظ نفترضه آنذاك، لن تكون لديه معرفة ولو طفيفة بأن هذه الحالة غير واحدة تتبى بأن الكون يحمل فى طياته تلك الطموحات غير العادية. وليس ثمة تفسير سوف لا يتفق مع هذا، منذ عدة بليونيات من السنين، فإن تريليونات من النجوم المستعرة لا بد أنها نظمت نفسها إلى البلايين من المجرات ذات الحركة المغزلية، ودرجة أن النباتات وبلورات الكريستال والسحب والمحيطات وأنهار الجليد قد ظهرت جميعها. وأن الأشجار والأفيال والأسماك سوف تقطن واحداً من تلك الكواكب، وأن هذا العالم سوف ينذر بوجود «ضحكة» إنسانية. ولا شىء من كل هذا كان يمكن التكهّن به.

وبما أن الكون يتمدد من حالته المبدئية، فهو إذن يبرد، ومع انخفاض الحرارة تأتى إمكانيات أكثر، فالمادة كانت قابلة للتجمع بشكل كلى أو إجمالى فى بناء لا شكل له، والتى شكلت بذوراً للمجرات الحالية. وبدأت الذرات فى التشكل، ممهدة الطريق للكيمياء كى تشكل الأشياء الفيزيائية الصلبة.

وعديد من الظواهر العظيمة انبعثت فى الكون منذ ذلك الوقت: ثقوب سوداء هائلة تزن ما مقداره يكافئ وزن بليون شمس، تلتهم النجوم، بينما تتفث دفناً من القوى الغازية، ونجوم نيترونية تدور حول نفسها ألف مرة فى الثانية، وموادها تتسحق إلى بليون طن فى السنتيمتر المكعب، والعناصر تحت الذرية تراوغ لدرجة اختراقها سنوات ضوئية فى ممر متماسك وموجات الجاذبية «الشبحية» التى لا تترك ممراتها أى أثر أو طبعة على الإطلاق قابلة لأن تُدرك أو تُرى. ومع ذلك، ولو أنه يثير الدهشة، فإن ظاهرة الحياة ملحوظة بما يعدل كل تلك الظواهر مجتمعة. فإنها لم تأتِ بأى تغير مفاجئ أو دراماتيكي فى مشهد الكون، باعتباره متناغماً

ومتضامًا ومتكاملاً. ومهما كان أمر الحياة، فإن التغيرات التي وقعت ومهما كانت على نحو خام أو مصنوع، فقد كانت تدريجية. أما - بصرف النظر عن كل شيء - بمجرد بزوغ الحياة فإن الكون لم يعد كما كان قبلها. ويبطء ولكن تأكيداً فقد انتقلت الحياة إلى كوكب الأرض. وبتقديمها طريقاً للوعي، والذكاء، والتقنية، فقد أصبحت طامحة وواعدة بتغيير الكون.

وهذا الكتاب يسلط الضوء على أصل الحياة. ومشكلة نشوء الحياة (من حياة سابقة) تنقسم إلى مشكلات «أين؟» و«متى؟» و«كيف؟». وسوف نرى أن العلماء لديهم فكرة كافية عن متى أسست الحياة نفسها لأول مرة على الأرض. وبالنسبة لأين؟ وعلى أى جزء من الأرض كان ذلك، فإن الدليل يشير على نحو متزايد إلى موقع حار تحت السطح، ربما قريب من فتحة أو منفذ بركان في المحيط أو في عمق الصخور تحت البحر. ولكن مادامت الحياة إنتقلت من اللا حياة على الأرض أو على المريخ أو عليهما معاً، فإن السؤال يبقى مفتوحاً.

هذا والجزء فى المتاهة الخاص بـ «كيف» هو أصعب الأسئلة الثلاثة فى مجال حله، وبشكل جوهري هو الأكثر إغراءً وإدهاشاً. وعندما قدم دارون المشهد المتعلق بالبحيرة الصغيرة الدافئة، كان معتقداً أو مفترضاً بأن الحياة هي نوع من «المادة السحرية» أو شكل خاص، بل غامض من عنصر عضوي. ويبدو من الطبيعي التفكير في وجود وصفة كيميائية تتبعث منها الحياة، عندما يتم اتباعها في المعمل. أشبه بعملية إنضاج «كعكة» فإن السؤال سيكون منحصراً في كيفية خلط العناصر المكونة لها بالطريقة الصحيحة حتى تثمرها حياة أماننا - واليوم تبدو هذه الوجهة من النظر بشأن الحياة خالية من الرشد. لأن تطور الجزيئات العضوية كشف عن أن آلية الحياة معقدة بشكل مذهل. إنها ليست مجرد المواد التي صُنعت منها الحياة، هي العنصر الفعال في الأمر. وإنما التعقيد الذي يصعب حله والتخصص العضوي المعقد للجزيئات الحية. والدرس المركزي المستفاد من الجزيئات العضوية هو أن الحياة تقوم بسحرها من خلال إجراءات إعادة نسخ

المعلومات. وأنها تقوم بذلك من خلال توظيفها لسوفت وير رقمي يستعمل الأرقام ٣، ٤، و ٢٠، وكتأثير نجم عن ذلك فإن الخلية الحية ليست مادة سحرية كشان الكمبيوتر الفائق القدرة Super computer.

والطبيعة المعلوماتية للحياة تفيد التعقيد في مشكلة نشوء الحياة. والعبء يتحصل في شرح، ليس كيف تجمعت المواد المناسبة مع بعضها (الهاردوير)، وإنما كيف بزغت المنظومة المعلوماتية (التحكم في سوفت وير). وبينما ليس مشكوكاً في صحة أن الكيمياء سوف تستمر في مدّ مشكلة نشوء الحياة بالمعلومات عبر طرق مهمة، فأنا أعتقد أن تقدماً حاسماً في مجال فك سر الحياة، سوف يأتي من دراسة نظرية المعلوماتية والتعقيد. مثل هذه الموضوعات لم تزل بعد في مرحلة طفولتها، ولكن من الواضح فعلياً أن ثمة مبادئ كونية موجودة ظاهرياً بالفعل، والتي تنطبق على تعقيد حالة المادة الحية والمادة غير الحية.

وشعوري الشخصي أن فهماً كاملاً لطبيعة وسر الحياة سوف يتطلب أيضاً أن نأخذ في حسابنا قوانين فيزياء الكم. هذا وقواعد «اللعبة» الكمية تبدو لنا كما لو كانت قدرًا عائرًا، فعلى سبيل المثال فإن النظم الكمية تقوم على المبدأ المنسوب لهايزنبرج والخاص بـ «اللا يقين» والذي يورثنا الحيرة والارتباك. واللا حتمية في الطبيعة، لدرجة أنه من غير الممكن التنبؤ بما سيفعله نظام كمي بين لحظة واللحظة التالية. كما أن ثمة ملمحاً غريباً آخر، يتمثل في أن عنصرًا مثل الإليكترون يمكنه أن يتواجد في أكثر من حالة في نفس الوقت، على سبيل المثال، فإنه ربما يتواجد في مكانين أو أكثر في المرة الواحدة، أو أن حركته المغزلية سوف تتجه إلى أعلى وإلى أسفل معاً في آن واحد. ومن الناحية التقنية يسمى هذا أو يعرف بالـ: superposition. والأكثر من ذلك فإن اثنين، أو أكثر من العناصر الكمية يمكن أن تظل مرتبطة حتى لو كانت متباعدة عن بعضها بتأثير ما سماه أينشتاين «التفاعل الشبحي عبر المسافات».



تغير هذه الملامح الشاذة والغريبة من طبيعة التوظيف المعلوماتي على المستوى الذري بشكل جوهري، هو الحقيقة التي انجذب لها الكثير من انتباه الفيزيائيين والمهندسين مؤخرًا. وإذا كان ممكنًا إعداد أو تجهيز تأثيرات كمية بشكل كافٍ، فإن العناصر الذرية وتحت الذرية يمكن استخدامها لتسريع أي عملية حوسبة كمبيوترية بأكثر من أي ما يمكن أن يفعله كمبيوتر فائق موجود. والجنس البشري يقترب للغاية من بناء كمبيوتر كمى وظيفي، سوف تكون له قوة خاطفة للأنفاس<sup>(٧)</sup>. فعلى سبيل المثال يستطيع كمبيوتر كمى تام مصنوع من عشرات قليلة من الذرات أن يجسد الكون على نحو أفضل كثيرًا مما يستطيعه أحسن كمبيوتر معاصر. وليس نوعًا من المبالغة القول بأنه إذا تم بناء كمبيوتر كمى فسوف يعنى هذا تقدمًا تقنيًا بحجم اكتشاف أصل الكمبيوتر الإلكتروني الموجود حاليًا.

وهل تكون الطبيعة قد استغلت بالفعل قدرة ميكانيكا الكم لتحليل المعلومات؟ أم أنها المرة الأولى في التاريخ (مع إمكانية استثناء «العجلة») التي طورت فيها البشرية تقنية غير معروفة في أي مكان آخر في العالم الطبيعي؟ وإذا كانت إجراءات المعلوماتية الكمية حادثة في الطبيعة، فأى مكان سيكون أفضل لها من الخلية الحية التي تمثل الكمبيوتر الفائق للطبيعة؟

وبالطبع، وعند مستوى معين فلا بد أن تلعب ميكانيكا الكم دورًا في الحياة، ولو فقط بإمدادنا بالروابط الكيميائية الجزيئية الضرورية لوظائف الحياة. ولكن يمكن لهذا الدور أن يكون أكثر أهمية من ذلك؟ هل تذهب آلية الجزيئات الحية إلى ما وراء المبدأ البسيط المسمى مبدأ الليجو **Legoprincipal** «بأشكاله المتعددة، مرتبطة ببعضها في قضيب واحد، وتقوم فعلاً بتجهيز القدر العاشر الكمى الذى أشرت إليه قبلاً باختصار، وأن هذا القدر العاشر سوف يمكن «كمبيوتر» كمياً من تجسيد هذا العمل البطولى المدهش الخاص بالمعلوماتية.

أنا من أول الموافقين على أن تلك فكرة مشهدية هائلة. وتدل الحسابات البسيطة على أن التأثيرات الرقيقة أو الضعيفة للكم التى كتبت عنها هى رقيقة

بدرجة لا تكاد تصدق، وأنها يمكن أن تتدمر بسرعة فى «مستشفى مجاذيب» الجزيئات فى الخلية. ولكن ربما توجد طرق تسمح للجزيئات العضوية المحتشدة بأن تحمى نفسها من هذا التحلل أو التفسخ بتلك الصورة العنيفة. بالتأكيد نحتاج لمزيد من البحوث لأجل الحصول على إجابة. وفى هذا الحين فثمة دليل ظرفى على أن الخلية قد تأخذ هيئة كمبيوتر كمى. وهذا الدليل أتى به أبورفا باتل Apoorva Patel بالمعهد الهندى للعلوم فى بنجالور <sup>(٨)</sup> Bangalor. أشار باتل إلى أن الأرقام ٣، ٤، ٢٠ التى تميز الشفرة الجينية، تظهر بشكل أوتوماتيكى فى مشكلة معروفة جيداً فى مجال الحوسبة الكمبيوترية الكمية، وهى عند استهداف البحث عن قاعدة معلومات لأشياء لا مصدر لها. وهذه مجرد واحدة ولو صغيرة نوعاً، تعنى أن الـ DNA ربما يستخدم المواقع الفائقة الكمية لكى يقوى كفاءته الوظيفية.

من الناحية الوظيفية فأنا فيزيائى نظرى، والقارئ قد يعجب لماذا أكتب فى مجال البيولوجيا الفلكية. لقد كنت دوماً مغرمًا بمشكلة أصل الحياة، والسؤال المتصل بها عما إذا كنا وَحْدَنَا فى الكون أو أننا لسنا وحدنا. ويمكننى تعقب هذا الإغواء أو التعلق بالموضوع منذ أن كنت طالباً يدرس الفيزياء بإحدى كليات جامعة لندن فى ستينيات القرن الماضى. ومثل كثير من أصدقائى قرأت رواية خيال علمى رائعة لـ «فريد هويل» Fred Hoyle بعنوان «السحابة السوداء» "The Black Cloud" عن وصول سحابة ضخمة من الغازات إلى فضاء النظام الشمسى<sup>(٩)</sup>. ومثل هذه السحب معروف جيداً للفلكيين لكن فكرة هويل الجاذبة للاهتمام هى افتراضه بأن هذه السحابة قد تكون حية. الآن هذا قد يكون مجرد أحجية. كيف تكون سحابة ضمن الأحياء؟ ولقد تحيرت فى نشأتها طويلاً. وبالتأكيد سحب الغاز لا بد لها أن تطيع قوانين الفيزياء؟ كيف يتسنى لها أن تتجز سلوكاً استقلالياً أو بشكل منفرد بعيداً عن نفوذ تلك القوانين؟ هل تمتلك أفكاراً؟ هل لديها اختيارات؟ ولكن حينئذ، وهذا حدث لى، كل الأعضاء الحية يفترض خضوعها

لقوانين الفيزياء، ولكن عبقرية هويل كانت في استخدامه نموذج السحابة ليبرز لنا هذا التناقض بطريقة تتسم بالقوة. بقيت مصدوماً وشبه مضطرب. وتعجبت متسائلاً: ما هي بالضبط الحياة؟ وكيف تسنى لها أن تبدأ؟ هل ثمة شيء مضحك يجري داخل الأعضاء الحية؟ وعند هذا الوقت بالضبط أعطاني المشرف على رسالتي للدكتوراه (كتدريـب عن تحوـر الضوء) بحثاً للفيزيائي المحترم إيجين فيجنر Eugene Wigner، وزبدة الكلام في هذا البحث أنه يبرهن على أن نظاماً فيزيائياً لا يمكنه أن يحقق الانتقال من اللا حياة إلى الحياة دون انتهاك للفيزياء الكمية<sup>(١٠)</sup>. وهكذا فإن فيجنر اعتقد بأن ثمة شيئاً «مضحكاً» قد وقع عند بدء الحياة.

وبعد وقت قليل عقب ذلك دفع المشرف لى ببحث آخر يتصل بالبيولوجيا وهذه المرة كان صاحب البحث هو الفيزيائي البيولوجي براندون كارتر Brandon Carter والذي صور لى مشكلة مهمة ومثيرة بشأن الحياة، وهي التي تفادت الحاجة للقلق عن كيف بدأت بالفعل. طرح كارتر السؤال: ما الخواص التي حازها الكون الفيزيائي بحيث وجدت الحياة من أى نوع أولاً وأخيراً؟ افترض أنك بطريقة سحرية استطعت أن تغير في قوانين الطبيعة أو الشروط المبدئية للانفجار الكبير، فإلى أى مدى تستطيع أن تغير القوانين الأساسية لبناء الكون بحيث تظل تسمح بالحياة؟ وإذا أخذنا مثلاً بسيطاً، فإن الحياة كما نعرف جميعاً تتطلب عناصر كيميائية معينة خاصة الكربون. ولكن ذرات قليلة من الكربون صنعت في الانفجار الكبير، فغالبيتها تم صنعها بداخل النجوم. وقد لاحظ فريد هويل بالفعل أن الإنتاج الناجح للكربون في النجوم هو بالفعل عملية من قبيل إلمس وامض "touch and go". وأنها تعتمد على نحو رقيق على خواص قوى الذرات. وعامل غير بارع أو غير ماهر وفي ظل القوانين الأساسية لفيزياء الذرات، والكون، ربما سيحصل على قليل من الكربون أولاً كربون بالمرّة وربما لا حياة. وأفكار كارتر أصبحت معروفة «بالمبدأ الأنثروبولوجي» "the anthropic principle" وتقترح على نحو متهور وجزئى أن مسألة وجود الحياة هي مسألة يمكن قياسها كنتيجة لمصادفات سعيدة في البناء الرياضى التحتى للكون.



ومع جرأة الفكرة المصريح بها في بحث كارتر، فلقد ظل سر الحياة على حاله: غير مشروح أو مفسر، وبعد قليل من الوقت، توظفت أنا كباحث مشارك في معهد الفلك النظري بكامبريدج، والذي كان يديره فريد هويل والباحث المشارك براندون كارتر **Brandon Carter**، وهناك صادفت كتابًا صغيرًا لخص المشكلة لدى، إذ يحمل عنوانًا: ماهي الحياة؟ **What is life?** من وضع الفيزيائي إيروين شروندنجر **Erwin Schrodinger**، ويشرح لماذا يبدو النظام العضوي غامضًا من وجهة نظر الفيزياء<sup>(١١)</sup>. وبعدها اكتشفت أن هذا الكتاب كان صاحب تأثير هائل أو مكثف منذ عشرين عامًا في الأيام الباكرة لموضوع البيولوجيا الجزيئية.

وللأسف فقد أثار كتاب شروندنجر لدى المزيد من الأسئلة عوضًا عن إجابات قد أعثر عليها، وسلمت بأن مسألة التوالد البيولوجي في تفكيرى تمثل هدفًا صعبًا للغاية. ومع ذلك فقد أعطاني كارتر نسخة منقحة من بحثه عن المبدأ الأنثروبولوجي (والذى لم ينشرها أبدًا)<sup>(١٢)</sup>، ومع زميل باحث بالمعهد نفسه يدعى بل ساسلو **Bill Saslaw**، أصبحنا كمن يخوض في الماء دون طائل مع أفكار كارتر. حتى إننا حاولنا الالتقاء مع فرانسيس كريك **Francis Crick**، الذى كان يعمل وقتئذ في معمل المجمع الطبى بكامبريدج. ووجدنا أن كريك كان مشغولاً، وبدوره بدا كارتر وأن كل ما يعنيه هو الحصول على مؤيدين بدرجة جيدة لمبدأه الأنثروبولوجي، حتى إن انشغالى أو اهتمامى بالمسألة البيولوجية بدأ فى الخفوت.

ومرت عدة سنوات بعدها حتى بواكير الثمانينيات، حيث أقام مارتن ريس **Martin Rees** (الذى حاز بعد ذلك لقب «سير» **Sir** وأصبح الفلكى «الملكى») مؤتمرًا عامًا تحت عنوان: «من المادة إلى الحياة» **"From Matter to Life"**. استطاع ريس مع زميل له فلكى يدعى برنارد كار **Bernard Carr** أن يعيدا الحياة لموضوع المبدأ الأنثروبولوجي فى بحث<sup>(١٣)</sup> شهير لهما، نشرته مجلة «الطبيعة» **Nature** عام ١٩٧٩. وقد تسنى لمؤتمر أقيم فى تلك الوقت أن يحضره فيزيائيون وفلكيون من أمثال براندون كارتر وفريمان دايسون **Freeman Dyson**

وتومى جولد Tommy Gold، وبيولوجيون مثل لويس ولبرت Lewis Wolpert وسيدنى برينر Sidney Brenner، ورياضيون كجون كوناوى John Conway وخبراء ف المسألة الجينية مثل مانفرد إيجن Manfred Eigen وجراهام كارينز سميث Graham Cairns-Smith. وكانت قائمة موضوعات المؤتمر، وكأنها تسلط الضوء، مركزاً على «سر الحياة». وعبر العقد التالى تقريباً، وجدت نفسى تحت سيطرة أفكار هويل مرة أخرى وأيضاً دايسون وجولد، وبمعونة شاندرام سينغى Shandra Wickrama singhe، بشأن الفكرة الجسورة بأن الحياة ربما لا أصل لها على الأرض إطلاقاً، وإنما جاءت إليها من خلال المذنبات. ومن ناحيته راح دايسون يتأمل فى أصل الحياة، مطلقاً عنان خياله للبحث فى مستقبل والقدر المطلق الذى ينتظر الحضارة التقنية. أما جولد فقد كانت لديه نظرية تقول بأن كميات كبيرة من الهيدروكربون hydro-carbon (مركب عضوى لا يحتوى إلا على الهيدروجين والكربون فقط مثل البنزين والأسيتيلين: المترجم) تبقى محصورة تحت الأرض، وعندما تُجرى بحثاً لاختبار ما جاء به من حدوس، فتُثمة أشكال أخرى للحياة يجرى اكتشافها. وكل هذه التطويرات أطرت تفكيرى عن الموضوع.

وكذا فتُثمة أثر لشخص آخر له اهتمامات تشبه اهتماماتى بالفلك العضوى هو المرحوم كيث رنكورن Keith Runcorn، والذى سبق أن زاملنى بجامعة نيويورك فى تاين Tyne. والذى كان جيوفيزيائياً امتدت اهتماماته وراء الأرض إلى النظام الشمسى. ومع أن الجيوفيزياء كانت بعيدة جداً عن مجال خبرتى، فكثيراً ما جلست فى محاضرات كيث ومؤتمراته. وفى الاجتماع الخمسين لجمعية «النيازك أو الشهب» الذى عقد بنيوكاسل ١٩٨٧ والذى لا يمكن - وبصفة خاصة - أن أنساه باعتبارها المرة الأولى التى أتعلم فيها شيئاً عن نيازك وشهب المريخ.

والقطعة الأخيرة من هذا «الزجاج» أو الطريق المتعرج والمتشابك جاءت فى بواكير التسعينيات، عندما انتقلت إلى أستراليا للعمل لجامعة أدلايد Adelaide، وهناك أصبحت مهتماً بما يجريه دنكان ستيل Duncan Steel، الخبير فى

اصطدامات الكويكبات والمذنبات مع الكواكب. وكان له الفضل بتعريفى حقيقة أن المادة يمكن أن تُقذف من الكواكب من خلال الاصطدامات الكونية، وهى الفكرة التى قادت إلى نظريتى عن سفر العضويات الميكروسكوبية Microorganism من المريخ إلى الأرض أو العكس.

وعندما تهيأت لوضع هذا الكتاب كنت مقتنعا بأن العلم أصبح قريباً من كشف غموض «أصل الحياة». والدليل الدراماتيكي بأن الميكروبات تعيش هناك فى العمق تحت الأرض، والذي عرفته لأول مرة من جولد، هذا الدليل يَعدُّ بأن يكون وراء «الحلقة المفقودة» بين العالم قبل الحيوى الخاص بـ «الشورية البيوكيميائية» وبين أول الخلايا البدائية. والحقيقة أن كثيراً من العلماء فى هذا المجال يعتقدون بثقة أن المشاكل الكبرى الخاصة بالنشوء الإحيائى قد تم حلها بالفعل، وثمة بعض الكتب التى نقلت لنا مؤخراً الرسالة الواثقة بأن أصل الحياة ليس بالفعل بهذه الدرجة من الغموض بعد كل شىء<sup>(١٤)</sup>. ومع ذلك أظن أنهم على خطأ. وبعد قضاء بعض السنوات باحثاً فى هذا المجال أصبحت مع الراى القائل بأن ثمة خليجاً عميقاً فى بحر فهمنا. وللتأكيد، فإن لدينا فكرة جيدة عن «أين» و «متى» ولكننا لم نزل بعيدين جداً عن «كيف» بدأت الحياة.

وهذا الخليج الذى أعنيه فى فهمنا لا يتعلق بالجهل بتفاصيل تقنية معينة، ولكنه يمثل ثغرة أو فجوة فى الفهم. ولست أقترح أن أصل الحياة عبارة عن واقعة طبيعية فائقة أو وراء الطبيعة، وإنما فقط أننا نفتقد شيئاً ما وأساسياً جداً فى الأمر كله. وإذا كان الأمر كما يعتقد كثير من الخبراء والمتحدثين عن الأمر بأن الحياة مجبرة على النشوء بمجرد توافر الشروط الصحيحة، فلا بد إذن أن أمراً مدهشاً يقع فى هذا الكون، شىء بارز وشديد الأهمية وله تشعبات وروافد فلسفية مهمة أيضاً. هذا وعقيدتى الشخصية عما يستحق هنا أن تكون هناك نظرية ترضينا جميعاً بصدد أصل الحياة والتى تحتاج أفكاراً جذرية جديدة، ربما نجدها فى منطقة نظرية التعقيد ونظرية المعلومات، وكما اقترحت فربما تمتد إلى عمليات المعلومات الكمية بطريقة ما.



كثير من الباحثين يجدون حرجاً في الإقرار العلني بأن أصل الحياة يظل سرّاً، وحتى خلف الأبواب المغلقة، حيث يتمتعون بالحرية يجدون أنفسهم في حالة من الحيرة والارتباك إزاء اعترافهم بذلك. ويبدو أن هناك سببين لهذا الحرج وتلك الحيرة. أولهما أن ذلك يفتح الباب للأصوليين الدينيين للقول بأن الله هو الخالق، الأمر الذي يفتقر إلى الأدلة بالمعنى العلمي وباعتبار أن ذلك يغلق الفجوة في الفهم التي أشرت إليها. والثاني هو أن اعترافهم الصريح بالجهل سوف يقوّض اعتمادات التمويل، خاصة بالنسبة لبحوث الحياة في الفضاء. ويبدو أن الحكومات مستعدة للإنفاق على البحث عن وجود حياة خارج الأرض، إذا كان العلماء معتقدين بأنها بالفعل موجودة هناك.

في رأيي أن هذا السلوك ليس صحيحاً أو أنه يخلو من الرشاد. على العلماء أن يمضوا فيما هم فيه من أبحاث دون إعطاء أهمية للمبالغة في الدعاوى المتعلقة بمجرد أن هناك هزلاً في الدعم العام. والأهم من ذلك أن الجهل يمدنا بدافع أفضل للتجربة أكثر مما يفعل التيقن من الأشياء. ومن المهم أن نسعى إلى وجود الحياة في عوالم أخرى، ومحاولة توليفها أو اصطناعها في المعامل، خاصة أننا لسنا متأكدين من كيف وُجدت. وإذا كنت مصححاً في قولي، فإن هذا النشوء الإحيائي سوف يعطينا فكرة ولو ضئيلة عن أمر مدهش وهائل، لأن دراسة عوالم أخرى ربما تمكننا من الإمساك بالسر الملحوظ أثناء حدوثه. والعلماء مقتنعون بأن كواكب مثل زحل والزهرة وأقمار كل منهما تمثل معامل ضخمة للحالة قبل العضوية، حيث إن الخطوات التي أدت للحياة على الأرض قد تجمدت هناك مع الزمن، وكجزء يوازن بين مجال الكيمياء المعقدة من ناحية ومجال البيولوجيا من ناحية أخرى. وفي حالة المريخ فيبدو أكثر أن الخط بين اللا حياة والحياة قد تم عبوره، وأنه عند مرحلة ما في الماضي ازدهرت الحياة فوق النجم الأحمر.

وحل لغز النشوء الإحيائي ليس مجرد مشكلة على قائمة ما يجب على العلماء عمله من مشروعات بحثية. ومثل أصل الكون وأصل الوعي، يقدمان لنا ما

هو أعمق لأنها اختبار لأساس وجهة نظرنا إزاء عالمنا. واكتشاف ما يعد بتغيير الأسس والمبادئ التي يبنى عليها فهمنا للعالم الفيزيائي، تستحق أن نضعها بين الأولويات - فطالما حير سرُّ الحياة الفلاسفة والنيولوجيين والعلماء لأكثر من ٢٥٠٠ سنة، وفي العقد أو العقدين التاليين فلدينا فرصة ذهبية لأن نحقق تطورات كبرى في هذا الميدان.

وبأخذ مقوِّدي أو مفتاح العملية من فرانسيس كريك<sup>(١٥)</sup>. وإشاراته فيما يعنى أن النشوء الإحيائي «يكاد يكون معجزة» فقد أعطيت عنواناً لهذا الكتاب عند نشره لأول مرة عام ١٩٩٨ «المعجزة الخامسة» "The Fifth Miracle"، أما الطبعة المنقحة التي بين أيديك، فقد أعطيتها عنوان: «أصل الحياة» لتعكس محتوى الكتاب على نحو واضح. ولقد بقي العمل من دون تغييرات حقيقية، ولو أنني بالطبع جعلته أكثر بصيرة بشكل ملحوظ. وكثير من الحدوس التي ناقشتها في ذلك الوقت وبدت أنها تتصدر الساحة قد دعمتها بأدلة جديدة يزداد الاقتناع بأنها قابلة للتصديق ولو ظاهرياً. وبشكل خاص فيما يتعلق بحالة تدعو للحيرة والقلق عن وجود مجال إحيائي تحت السطح، إمكانية وجود حياة في الماضي أو الحاضر فوق المريخ، ثم إنتقال النظام العضوي الحي بين الأرض والمريخ. لقد قمت بتحديث النص هنا وهناك، وأدخلت ملاحظات تدعم هذه التطويرات الجديدة.

وفي مرحلة الإعداد للكتاب ومراجعته فقد استفدت على نحو ملحوظ من المناقشات التفصيلية المطولة مع كثير من زملائي المميزين. بعضهم أشرت إليه بالفعل. وثمة شكر خاص لكل من: سوزان بارنز Susan Barns وروبرت حنا فورد Robert Hanna ford وجون باركيز John Parkes وستيفن روز Steven Rose ومايك رسل Mike Russel ودنكان ستيل Duncan Steel ومالكولم والتر Malcolm Walter، الذين تفضلوا وقرأوا وعلقوا على مخطوطة الكتاب الأصلية. وثمة آخرون قدموا لي يد المساعدة قبل وبعد الطبع الأول للكتاب وهم:

**Emma Bakes, Diane Addie, Derek Abbott, Roger Buick, Julian Brown, David Blair, George Coyne, Benton Clark, Julian Chela-Flores, Susan Davies, Robert Crotty, Helena Cronin, Thomas Gold, Everett Gibson, Reza Ghadiri, Gerry Joyce, Richard Hoover, Monica Grody, Bernd-Olaf Küppers, Stuart Kauffman, Jay Melosh, Chris Mckoy, Clifford Matthews, Pauline Newman, Stonley Miller, Curt Mileikowsky, Martin Rees, Martin Redfern, Stanley Miller, Mithael Paine, Lynn Rothschild, J. William Schopf, Robert Shapiro, Leslie Orgel, Everett Shock, J. William Schopf, Lynn Rothschild, Normansleep, Robert Shapiro, Geoffrey Shallit, Roger Summons, Karl Stetter, Lee Smolin, Martin Vankranendonk, Ruediger Vaas, Philippa Uwins, Chandra Wickramasinghe, Frances Westall, David Zare, Kevin Zahnle, Ian Wrigh.**

وفى النهاية أحب أن أوجه شكرى إلى معهد الأستروبيولوجى فى NASA ومديره باروخ بلومبرج Baruch Blumberg للتشجيع والدعم الذى قدمه لى، وكذا القائم على مركز أبحاث طيران الفضاء لكرم استضافته لى.

**بول دافيز**

**المركز الأسترالى للفلك العضوى**

**جامعة ماكواير بسيدنى**

**سبتمبر ٢٠٠٢**

**<http://aca.mq.edu.alpdavies.html>**



## الهوامش

- (١) حول أصل الأنواع 'On the Origin of Speices'  
لـ: تشارلز دارون "Charles Darwin" (John Murray, London 1859) ..
- (٢) الحياة ذاتها: طبيعتها وأصلها 'Life Itself. Its Nautre and Origin'  
لـ: فرانسيس كريك "Francis Krick" (Simon & Schuster New York, 1981, .p. 88)
- (٣) الغبار الحيوى 'Vital Dust'  
لـ: كريستيان دي دوف 'Christian de Duve' (Basic Books, New York .1995)
- (٤) الانتقال الطبيعى للميكروبات المتنقلة فى الفضاء Natural transfer of viable microbes in space  
لـ: كيرت ميليكوسكى وآخر 'Curt Mileikowsky et al' (Icarus 145, 391 (2000))
- (٥) الأحفورات الجانبية من المريخ القديم: توقيع غير مصقول للطبيعة البيولوجية فى الحجر النيزكى المريخى ALH 84001  
"Magnetofassils from ancient Mars: a robust biosignature in The Maritian meteorite ALH84001  
لـ: كاثي ل. توملس - كيپترو وآخر. 'Kathie L. Thomas- Keptro et al' (Applied and Enviranmental Microbiology 68, 3663, (2002))

(٦) اقتباس في «إنشاء أو تكون الحياة» **The Creation of Life**

لـ: أندروسكوت "Andrew Scott". (Blockwell, Oxford 1986, p. 49).

(٧) معالجة فاينمان: مقدمة للحوسبة الكمية لـ: جيرارد ميلبورن Gerard Milburn

**Feynman Processor: An Introduction to Quantum Computotion"** (Allen & Unwin, Sydney 1998)

(٨) الفيزياء الرياضية والحياة **Mathematical physics and life**

لـ: أبورفا باتيل "Apoorva Patel" في علوم الحوسبة والمعلومات: توجهات حديثة.

**"Computing and Information Science: Recent Trends".** (ed J. C. Misra, Narosa Publishing House, New Delhi, 2002, p. 270).

(٩) السحابة السوداء "The Black Cloud"

لـ: فريد هويل "Fred Hoyle". (Penguin, Harmonds Worth 1960).

(١٠) احتمالية الوجود لوحدة تعيد إنتاج ذاتها "The probability of the Existence of a Self-reproducing unit"

لـ: أيجين ويجنر «Eugene Wigner» في منطق

المعرفة الشخصية "The Logic of Persanal Knowledge" (نسخة من دون اسم أو

مجهلة) (ed. Routledge & Kegan Paul London 1961, p. 231).

(١١) ما هي الحياة «What is Life ?»

لـ: إروين شروينجر "Erwin Schrödinger" University Press, (Cambridge

Cambridge 1944).

(١٢) ومع ذلك فقد نوقش عمل كارتر «Carter» بشكل واسع في مجال الألب، انظر على

سبيل المثال: «مبدأ الأنثروبيا الكونية The Anthropic Cosmological

Principle» لـ: جون بارو "John Barrow" وفرانك تبلر (Clarendon Press,

"Frank Tipler" Oxford 1986).

(١٣) المبدأ الأنطروبي وبناء العالم الفيزيائي لـ: ب. كار B. Carr وم. ج. ريس M.J. Rees

(Nature 278, 605 (1979)).

(١٤) انظر على سبيل المثال: خطوات في اتجاه الحياة Steps Towards Life لـ: مانفريد

إيجن Manfred Eigen

(Trans. P. Wooley, Oxford University Press, Oxford 1992). والغبار

الحيوي لـ: كريستيان دي دوف Christian de Duve (Basic Books New York

1995) مطابقاً للتعليق المتفائل الذي يقول به النشوء والذي يتحتر من الاقتباس التالي: ليس

ثمة شك في أننا سنكتشف، واحداً تلو الآخر، كل الخطوات في المعمل... لنا الحق في أن

نكون متفائلين «في الأصل والتطور وتوزيع الحياة في الكون» The origin, evolution

and distribution of life in the universe في النهايات الكونية ونهايات الإنسان

«لـ: سيريل بونامبيروما» Cyril Ponnampereuma.

(ed., Clifford Matthews and Roy Abraham Varghese), Open Court,

Chicago 1955).

(١٥) مصطلح «الرب الذي يملأ الفجوات» God of gaps «استخدمه الثيولوجيون للإشارة إلى

محاولات شرح «الفجوات» في المفهوم العلمي للطبيعة من خلال تحركات مقدسة أو إلهية

منتقاة.



## الفصل الأول

### معنى الحياة

تخيل أنك قمت بالحجز لمقعد لك في آلة زمن، للسفر بها في الماضي وإلى الوراء أربعة بلايين من السنين. ما الذى سينتظرك هناك عندما تهبط من الآلة؟ لن توجد تلال خضراء ولا شواطئ رملية. لا جروف بيضاء ولا غابات كثيفة. الكوكب الشاب سوف يكون فيه قليل من الشبه مع ما نراه اليوم. وبالطبع ستبدو تسمية «الأرض» ذاتها كنوع من انتقاد صحة التسمية وبشكل جاد. ستكون تسمية مناسبة لو قلت «المحيط»، لأن العالم كله تقريباً سيكون مغموراً تحت طبقة عميقة من المياه الحارة. وليس ثمة تقسيم إلى قارات محددة تفرق بين بحر قاسى الطبع وآخر. وستجد هنا وهناك براكين جبارة - جميعها تنتشر على سطح المياه الساخنة تلك، نافثة سحباً قوية وهائلة وكثيفة من الغازات الضارة. والجو فى عمومها ساحق ماحق وغير قابل للاستنشاق أو التنفس فيه. والسماء، لدى خلوها من السحب، ستكون مضاءة بنور شمس مميّنة كرد الفعل الذرى، ومُغرقة للكوكب بأشعة فوق البنفسجية. وفى المساء تضىء السماء بشهب ونيازك براقة رائحة غادية عبرها. وبين حين وآخر تخترق هذه الشهب الجو الأرضى، غاطسة فى هذا المحيط، مثيرة عواصف عملاقة وأمواجاً عالية أشبه بأمواج «تسونامى» بارتفاع عدة كيلو مترات، وتنتثر أجزاؤها حول العالم من أثر الاصطدام.

وقاع المحيط العالمى ذاك لن يكون صخرياً كما نعلم أو نرى فى محيطاتنا الحالية. ثمة مجموعة من جهنمات متناثرة هناك تحت فى القاع، متقدة بنيران بدائية. وفى بعض الأماكن تتمزق (تتفتق) القشرة الأرضية عن صدوع واسعة تتبعث منها ألسنة اللهب ومصهورات البراكين لتفتح المحيط. ولا يمنع مياه البحر

من الغليان سوى الضغط الهائل للطبقة الفوقية المغمورة فى متاهة فوهات ومنافذ البراكين، المنشئة لوضع معقد من الاضطراب الكيماوى الذى يصل بدوره إلى عمق القشرة المنتفخة. وفى مكان ما من هذه الأعماق المتقدمة، وفى التجاويف المظلمة لقاع البحر، يحدث ما هو غير عادى، شىء مقدر له أن يعيد تشكيل الكوكب وربما الكون بأسره .. لقد ولدت الحياة.

ومما لا شك فيه أن الوصف السابق هو نوع من التفكير التأملى فى كيف كانت الصورة آنذاك. ولكن يبقى أنه يعنى واحدًا من السيناريوهات الممكنة التى أعطاها لنا العلماء عن أصل الحياة، وإن كان الشاهد أنه أقربها للتصديق، وهو ما يتزايد التصديق به يومًا بعد يوم. ومنذ عشرين عامًا فقط، كان اقتراح أن الحياة بدأت فى أعماق تلك البراكين المتقدمة، نوعًا من الهرطقة، خاصة أن ذلك يعنى أنها بدأت بعيدًا عن الهواء وضوء الشمس. إلا أن الأدلة قد أبرزت أن أسلافنا القدامى لم يزحفوا أو دبوا عبر الوحل والمياه الضحلة بقدر ما نشأوا عبر الحرارة الجهنمية تحت الأرض. بل ربما كان من يقطنون السطح، عبارة عن نوع من الزيغ أو الانحراف أو الشذوذ المتعلق بالظروف الخاصة بالأرض وقتئذ. وإذا كانت ثمة حياة فى مكان آخر من الكون فسوف تكون بالكاد تحت الأرض بالكامل وسيندر أن تمارس تشكلها على سطح أى من الكواكب.

وعلى الرغم من أن ثمة موافقة مناسبة على أن التشكلات البيولوجية المبكرة كانت عبارة عن ميكروبات تحيا فى الأعماق، فإن الآراء تبقى منقسمة فيما بين، عما إذا كانت الحياة بدأت من أعماق قشرة الأرض، أم أنها مجرد تواجدت هناك بشكل مبكر. لأنه برغم التقدم الهائل على مدى العقود الأخيرة فى مجال البيولوجيا الجزيئية والبيولوجيا الكيماوية، يستمر العلماء غير عارفين تأكيدًا كيف بدأت الحياة. ولو أن ثمة خطوطاً عريضة لنظرية أصبحت متاحة، فنحن على مبعده مما نحسبه تقدمًا تدريجيًا عن معرفة العمليات التى أحالت المادة إلى حياة. وحتى الموقع بالضبط الذى كانت فيه «حضانات» هذه العمليات، يمثل لغزًا يثير الغيظ.

فلربما لم يكن أصل الحياة واقعًا على الأرض من أساسه، وربما جاءت الحياة إلى الأرض من الفضاء الخارجي.

والتحدى الذى يواجهه نضال العلماء لشرح أو تفسير أصل الحياة، يتمثل فى الحاجة إلى وضع قطع بجوار بعضها البعض من الوقائع والأحداث التى حدثت منذ بلايين السنين، والتى لم تخلف وراءها إلا القليل من الآثار، أو نَفَذَت الآثار بصددتها كليةً. لعله هدف مروع أو مثبط للهمة. و على سبيل الحظ فقد تم فى السنوات القليلة الماضية، وضع صورة لطبيعة الكائنات البدائية التى وُجِدَت على الأرض، وأُستحدثت مجموعات جديدة من التجارب المعملية أدت إلى فهم الصورة الباكورة فى النظام الشمسى. هذا وتعتبر إعادة إحياء فكرة إمكانية الحياة على المريخ سببًا فى توسيع الأفكار عن الشروط الضرورية للحياة. كل هذه التطورات مجتمعة، رفعت من مستوى البحث من مجرد بحوث تُجرى فى الخلفية إلى بحوث تمثل المجرى الرئيسى لمشروعات البحث.

ومشكلة كيف ومتى بدأت الحياة، تمثل واحدة من أكبر الغوامض المدهشة فى العلم. والأكثر من ذلك أن قصة أصل الحياة تمتد تشعباتها وروافدها إلى الفلسفة، وإلى الدين وإلى الإجابة عن مثل هذه الأسئلة الشَّماء، مثل عما إذا كنا الكائنات الواعية الوحيدة فى الكون، وعما إذا كانت الحياة قد جاءت نتيجة حادثة عشوائية أو قانون عميق الجذور، أو ربما ثمة نوع من المعنى المطلق لوجودنا، يعتمد على ما يمكن أن تحسمه كشوف العلم حول تشكل الحياة.

وفى مثل هذا الموضوع المشحون بقوة يمثل هذه المعانى، يصبح من غير المدهش أن نفتقد حس الإجماع فى الأمر. فبعض العلماء ينظرون إلى الحياة كنزوة كيمائية غريبة وفريدة فى الكون. بينما يصرّ بعض آخر على أنها النتاج المتوقع للقوانين الطبيعية الرائعة والفاثثة. وإذا كان هذا الصرح العظيم للحياة هو نتيجة العشوائية والانعطافات الحادة والمحصنة لأحداث القدر، وكما ادعى البيولوجى الفرنسى جاك مونو Jacques Monod، فإن علينا أن نجد سببًا عامًا بالتأكيد لإلحاده الواضح، مُعَبِّرًا عنه جيدًا فى هذه الكلمات<sup>(١)</sup>:



«الغطاء القديم ممزق إلى قطع: عرف الإنسان أخيرًا أنه وحيد في الاتساع الهائل غير المحسوس للكون، والذي برز عبره بالمصادفة. ولا قدر له أو واجب عليه سبق أن تقرر أو كُتب بشأنه».

ولكن إذا كان مرشحًا أن الحياة ظهرت بدرجة - أكثر أو أقل - كجزء من عمق قانونية الكون، وإذا ما كانت مكتوبة خلال الدراما الكونية العظمى بطريقة أساسية - فإنها إذن تمثل إشارات إلى كون له هدف. وعلى الجملة فإن أصل الحياة هو المفتاح لمعنى الحياة.

وفي الفصول القادمة سوف أختبر بعناية آخر دليل علمي كمحاولة لمواجهة هذه المشروعات الفلسفية المثيرة للجدل. كيف كان الكون متعاطفًا بيولوجيًا؟ هل الحياة ظاهرة تتفرد بها الأرض؟ كيف أن أشياء معقدة، مثل حتى أبسط التكوينات العضوية يمكن أن تنتج عن عمليات فيزيائية مباشرة؟

#### الأصل الغامض للحياة:

«يبدو أن أصل الحياة... تقريبًا معجزة، فكم هي الشروط العديدة التي كان متوجبًا تحقيقها لكي تمضي الحياة في طريقها»<sup>(٢)</sup>. هكذا يقول فرانسيس كريك Francis Crick. وطبقًا لسكان أستراليا الأصليين في كمبرلي Kimberely عن وقت إنشاء أو خلق اللالاي Lalai<sup>(\*)</sup> فإن المسيطر على المجرة وصانع الأرض، سمح للمياه الطازجة بأن تسقط على ثعبان الأرض العملاق «وانجود» Wunggud. والذي كان جسده مصنوعًا كعنصر ملفوف داخل كرة مملوءة بما يشبه مادة «الجيلي» والمسماة نجالالا ياوون nagallall ywon ويتلقيه هذه المياه المنعشة، تحرك زانجود، محدثًا انخفاضًا أو ضعفًا كمرآب يجمع فيه الأرض. حينئذ صنع

---

(\*) من المرجح أنه اسم الله لدى السكان الأصليين في أستراليا. (المترجم).

المطر، وأنشأ العمليات الإيقاعية المتناغمة للحياة: الفصول، دورات الإنتاجية، دورات الطمث (الحيض) وشكلت قواها الإبداعية الإطار العام للمشهد ومنحت القوة لكل المخلوقات النامية والتي بقي محتفظاً هو بالهيمنة عليها<sup>(٢)</sup>.

وكل الثقافات لديها أساطيرها عن عملية الخلق وبعضها نابض بالحيوية عن بعضها الآخر. وقد نظرت، أو وجهت الحضارة الغربية لعدة قرون، نظرها إلى الكتاب المقدس للحصول منه على الاستتارة في هذا الموضوع. وللأسف فإن الكتاب المقدس أصبح أقل رقة وبطريقة مثيرة للإحباط بجوار القصة الأسترالية: خلق الله الحياة بصورتها الحالية تقريباً وبطريقة مباشرة، كما المعجزة الخامسة.

وليس بعيداً من كيمبرلي، وعبر الصحراء الرملية الكبرى وعبر جبال بلبارا Pilbara، وجدت أقدم أحفورة معروفة على الأرض. هذه البقايا المدهشة شكلت جزءاً من تقديرات العلم عن «الخلق». وكنقطة بداية فقد اعتبر العلم أن الحياة ليست من صنع الله الخالق ولا أي كائن فوق طبيعي، وإنما حدثت الحياة من دون مساعدة من أحد، وإنما كعملية طبيعية صدقوية أو عضوية.

وعبر القرنين الأخيرين فقد عانى العلماء من تجميع وتثبيت القطع المتناثرة من تاريخ الحياة. وأظهرت تقارير الأحافير بوضوح أن الحياة القديمة تختلف بشدة عن الحياة الموجودة بالفعل. وبطريقة مباشرة فإنك كلما ابتعدت إلى الوراء زمنياً، وجدت الحياة أبسط وأبسط بالنسبة للكائنات قاطنة الأرض. والتكاثر المثمر والمعقد من أشكال الحياة لم يقع إلا في البليون سنة الأخيرة. هذا وأقدم أحفورة حيوانية حقيقية موثقة وجدت أيضاً في أستراليا (في جبال الفلندرز Flinders Mountains شمال أدلايد Adelaide) ويرجع تاريخها إلى ٥٦٠ مليون سنة، وبعد هذا العصر بوقت قصير، منذ حوالي ٥٤٥ مليون سنة مضت، بدأ انفجار حقيقي للأنواع، وبلغت أوجها في استعمار الأرض بواسطة نباتات وحيوانات عملاقة، كما تشكلت الحياة وقتئذ في نظم عضوية وحيدة الخلية.

هذا السجل من التعقيد والتنوع مشروح جيدًا في نظرية دارون عن التطور، والتي رسمت صورة للأنواع المستمرة في التفرع وإعادة التفرع، لتشكل المزيد والمزيد من الامتدادات والأنسال، وعلى سبيل الحديث فإن هذه الأنسال أو الذرية تتقارب وتدور حول أصل واحد. والدليل القوي الذي يؤكد أن الحياة على الأرض تتحدد عبر هذا التفرع من سلف أو أصل واحد يتحصل في أن كل امرئ وكل حيوان وكل نبات وكل باكتيريا غير مرئية، يمكن تعقب أصلها في الميكروب الصغير جدًا الذي عاش منذ بلايين السنين، حيث كان هو أول الأحياء<sup>(٤)</sup>. أما ما يبقى محتاجًا للتفسير، ويشكل الجزء المركزي في متاهة الحقيقة العلمية عن الحياة، هي كيف أصبح الميكروب الأول موجودًا، أو بمعنى آخر كيف جاء للوجود؟

والذي يبدو للعيان أن التعمق الزائد في المسألة من شأنه زيادة عمق السر. إن الخلية الحية هي أكثر النظم في حجمها تعقيدًا لدى البشرية. إنها تحتضن جزيئات متخصصة، لا يمكن العثور عليها هنا أو هناك، وإنما فقط في المواد الحية، وهي نفسها غاية في التعقيد. إنها تنفذ ما يشبه الرقصة المختارة بعناية والدقيقة لأبعد حد، والإخلاص الكامل، والانضباط الأقصى، وهي صفات تخطف الأنفاس وتتعاون معًا في أوركسترا متناغم، وبشكل أوسع وأكبر كثيرًا من أعقد «الباليهات»، ورقصة الحياة تلك، تشمل ما لا يمكن إحصاؤه من الجزيئات المتعاونة معًا بشكل كامل. ولو أن هذه الرقصة لا إشارة فيها لأي مسئول عن وضع الألحان. لا مشرف عبقرية ولا قوة سحرية، ولا إدارة واعية تؤرجح الجزيئات، لتختار منها الصالح وفي الوقت المناسب، وتخلق الفجوات، ولا تزواج بين الشركاء، ولكن تدفعهم للأمام. رقصة الحياة تمضي بشكل تلقائي وعضوي، خالقة ذاتها ومستمرة بذاتها.

كيف يمكن لشيء أن يبلغ هذه الدرجة القصوى من التعقيد؟ وهذه البراعة والدقة البالغة، وهذه المهارة الفائقة شديدة الحساسية، وكل هذا يأتي للوجود بذاته؟ وكيف للجزيئات - غير العاقلة - أن تصبح قابلة فقط للدفع والجذب مع جيرانها المباشرين، ليتعاونوا في الإبقاء على شيء في عبقرية حياة النظم العضوية الحية؟



وحل هذه الأحجية يتطلب الخوض في عدة أنظمة، تأتي على رأسها البيولوجيا، ولكن أيضًا مجالات الكيمياء، والجيولوجيا، والفلك، والرياضيات وعلوم الكمبيوتر (الحوسبة الإلكترونية)، والفيزياء، كل منها له مساهماته في الأمر على نحو أو آخر. وحتى في التاريخ. قلة من العلماء تعتقد أن الحياة بدأت بقفزة حدثت في لحظة تاريخية فريدة. فلا وجود لعملية فيزيائية قادرة على التنفس الحيوى داخل المادة بطريقة مفاجئة. ولا بد أنه كانت هناك مرحلة انتقالية معقدة وطويلة بين الجماد والأشياء الحية، عندما وجدت لأول مرة، أحداث ممتدة ومتعاقبة زمنيًا، لا يبدو أنها كانت مقدرة لعدد لا يحصى من التفاصيل. وقانون الطبيعة لا يكفي وحده لشرح أو تفسير كيف بدأت الحياة، لأنه ليس ثمة قانون مفهوم أو يمكن إدراكه قد يجبر حشدًا من الذرات على أن تتبع منهجًا موصوفًا مُحدَّدًا مسبقًا، بينما تطيع أو تستجيب لقوانين الطبيعة، لا بد أن الطريق الفعلى الذى اتخذته الحياة كان صدفيًا وخاضعًا للظروف أكثر من مجرد انصياعه لقوانين الطبيعة، أى أنه نتيجة للمصادفة غير المتوقعة، كما يطلق عليها أهل الفلسفة. وبسبب هذا وبسبب جهلنا بالشروط التى سادت فى الماضى البعيد، فلن نعرف أبدًا بالضبط ما الحادث الذى أنتج الحياة فى شكلها الأول.

ومع ذلك فإن غموض الإحياء العضوى يذهب إلى مستوى أكثر عمقًا من مجرد الجهل بالتفاصيل. لأنه ثمة مشكلة عويصة تتعلق بطبيعة الحياة. وهناك على مكتبى «أباجورة» من تلك التى كانت شائعة فى ستينيات القرن الماضى، محتوية على سائلين مختلفى اللون ولا يختلطان، نقاط سائل منهما تنتشر ببطء عبر السائل الآخر. وفى العادة فالناس تعبر عن مسلك هذه النقاط على أنه شبيه بمسلك الحياة. والحاصل أن هذه الأباجورة ليست وحدها فى هذه الشأن، وإنما عديد من النظم غير الحية لها خصائص تشبه الخصائص الحية، شتلات اللهب الخفاقة أو المترجرجة، كتل الثلج المتساقطة، نماذج من السحب، دوامات التيارات المعاكسة فى نهر ما. ما الذى يميز إذن النظام العضوى الحى حقيقة، عن النظم التى مجرد

تشبهها فى السلوك ولكنها غير حية؟ ليس الأمر ببساطة مجرد اختلاف الدرجة؟ إنما هناك اختلاف حقيقى بين طبيعة الشيء الحى بالفعل والشيء الذى فقط مجرد شبيه به ولكن من دون حياة فعلية. إذا ما رقدت فرخة فوق بيضة، فسيكون رهاناً عادلاً أن الصغير النابت ريشه تَوّاً فى مخبئه سيصبح هو أيضاً فرخة. ولكن حاول أن تتبأ بشكل قطعة الجليد المتساقطة القادمة كيف سيكون بالضبط. الفرق الحاسم هنا أن الفرخ الجديد قد تم صنعه طبقاً لتعليمات جينية محددة. بينما نقاط سائل الأماجورة، وقطع الثلج المتساقط، ودوامات النهر، جميعها سوف تتشكل شاءت هى أو أبت، أى على نحو يعوزه التقرير المسبق. فليس ثمة جينات فى قطع الجليد. والتعليمات المكوّنة للتعقيد البيولوجى تكون معقدة بدورها، وباستخدام اللغة الحديثة فى هذا الشأن، فإن التعقيد مبنى على قاعدة معلومات معقدة. وعبر الفصل التالى سوف أناقش أنه لا يكفى أن نعرف كيف ظهرت تلك التعليمات المعقدة، بل يجب أن يمتد اهتمامنا إلى أصل المعلومات البيولوجية. وكما سنرى فإن العلماء مازالوا بعيدين جداً عن حل هذه المتاهة - المفهومية الأساسية. وبعض الناس يبتهج لهذا النوع من نقص المعلومات، باعتبار أن ذلك يفتح الباب لخلق إعجازى. ومع ذلك فإن وظيفة العلم أن يحل الألغاز دون اللجوء إلى مصدر مقدس يهيمن على الأشياء. ولكن العلماء لا يزالون غير متيقنين من كيف بدأت الحياة.

لا يعنى هذا أن الحياة ليس لها أصل طبيعى. كيف للمرء أن يذهب فى طريق حشد، أو تركيب تقديرات علمية حول المسألة الإحيائية أو نشوء الحياة؟ يبدو هذا الهدف وكأنه لا أمل فيه لأول وهلة. لأن الوسائل التقليدية فى السعى وراء الأحافير الصخرية تقدم لنا قليلاً من المفاتيح. معظم الجزيئات «قبل الحياة»، والتي مهدت لظهور الحياة، سبق أن تم استئصالها أو اجتثاثها منذ مدة طويلة. وأحسن ما يمكن أن نأمل فيه هو بقايا تدرج كيميائى من النظم العضوية السابقة، والتي منها برز النسيج الخلوى الحى المؤلف لنا.

وإذا كنا سنعتمد فقط على الأحافير الصخرية، فإن هدف فهم أصل الحياة والتطورات المبكرة للحياة سيكون هدفاً هائلاً ومرعباً بالطبع. ومن حسن الطالع أن ثمة خطأ آخر من الأدلة، يساعد الخط السابق. إنه يمتد بدوره إلى الماضي المظلم البعيد، ولكنه يوجد هنا والآن، داخل بعض أشكال الحياة التي لا تزال باقية. يقتنع البيولوجيون بأن بقايا أو تذكارات باقية من النظم العضوية الحية القديمة، تعيش في العمليات البيوكيماوية لأخلافهم، ومن بينهم الإنسان. وبدراسة كيف تعمل الخلية الحديثة يمكننا أن نلقى نظرة خاطفة على بقايا حياة السلف وهي تعمل - جزئياً فريد أو مميز هنا، رد فعل كيميائي ناقص على نحو ما هناك - هي ذات الطريقة الخارجة على المكان، أجزاء صلبة من الأرض أو واهنة، ركام مشكوك فيه، أي تغيرات في الأركيولوجيا (علم طبقات الأرض). وهكذا نجد واسطة بين تعقيدات العمليات التي تجرى في الحياة العضوية الحديثة وآثار نضال الحياة البدائية، وتشكل معبراً بيننا وبين ماضينا البعيد. وتحليل هذه الآثار الغامضة، وجد العلماء خط البداية لإعادة بناء وتشكيل الطرق الفيزيائية والكيميائية التي قد تكون أدت لوجود أول خلية حية.

وحتى مع هذه المفاتيح البيوكيماوية، تظل إعادة الإنشاء ذاك معتمدة بشكل كبير على التخمين لولا الاكتشافات التي حدثت أخيراً لما يمكن أن تطلق عليه «أحفوريات حية» معينة، وهي تلك الميكروبات التي تقطن أماكن شاذة وبيئات غاية في التطرف، وأعني بها الحشرات العملاقة Superbugs والتي تسمى عادة إكستريموفيلز extremophiles والتي أخضعت للفحص الكثيف، والتي أحدثت نوعاً من التتوير في الميكروبيولوجي. وهي ربما تكون بحالتها هذه هو ما نلقى عليه نظرتنا الخاطفة كميكروبات شاذة وغريبة، بينما هي قريبة كل القرب للحالة العضوية البدائية التي «باضت» لنا الحياة على الأرض. هذا وربما يأتي مزيد من المفاتيح عبر البحث عن الحياة على المريخ والكواكب الأخرى، ودراسة المذنبات والشهب النيزكية. وبوضع كل خيوط الأدلة كقطع متجاورة، فلربما تسمح لنا بإمكانية استنتاج أو استقراء، في خطوط عريضة على الأقل، ما هي الطريق التي ظهرت عبرها الحياة في الكون أول ما فعلت.



## ما الحياة؟

من المهم قبل أن نمسك بتلابيب المشكلة أن تكون لدينا فكرة واضحة عما هي الحياة؟ منذ خمسين عاماً مضت كان العلماء مقتنعين بأن لغز الحياة قد أصبح قاب قوسين أو أدنى. وميز البيولوجيون أو تعرفوا على أن المفتاح يكمن فى مكونات الجزيء داخل الخلية. وكان الفيزيائيون فى ذلك الوقت، قد فسروا تماماً تشكيل المادة على المستوى الذرى، وبدأ أنهم قريباً ما سيجدون سر الحياة أيضاً.

وتم وضع الأجندة (الأفكار مرتبة حسب آلياتها أو أولوياتها) بنشر كتاب إيروين شرودنجر "Erwin Schrödinger" «ما هي الحياة؟» *What is Life?*، وبدأ فى ذلك الوقت، أن الحياة ليست أكثر من آلة متجمعة من أجزاء ميكروسكوبية يمكن دراستها باستخدام التقنية الخاصة بالفيزياء التجريبية. وثمة أبحاث تتصف بالحدز وبالاحترام استسلمت لهذه الوجهة من النظر. لقد تعرضت الخلية لرواية كثير من الأكاذيب عنها كآلة صغيرة جداً أو منمنمة الطابع. ومع ذلك فإن صورة الخلية اليوم كأنها ليست سوى آلة معقدة جداً تعتبر نظرة ساذجة. ولكى تكون متأكداً، فإن البيولوجيا الجزيئية قد حققت نجاحات باهرة، إلا أن العلماء لا يزالون غير واثقين تماماً، فالذى يمكن أن يضعوا أصابعهم عليه ذلك الذى يفرق بين نظام عضوى حى وبين النماذج الأخرى من الأشياء الفيزيائية. والتعامل مع النظام العضوى كآلية قد حقق وبرهن بلا شك على ثمار عديدة، ولكن من المهم ألا نلتصق بسحر هذا النجاح. التفسير الميكانيزمى أو الآلى هو جزء مهم لفهم الحياة، ولكنه لا يمثل القصة كلها.

ودعنى أعرض عليك مثلاً حاسماً على أين تقع المشكلة؟ تخيل أنك تقذف فى الهواء بطائرين، أحدهما حى والآخر ميت، فإن هذا الأخير سوف يسقط على الأرض، محدثاً صوتاً مكتوماً وعلى بعد عدة أمتار قليلة ممكن حسابها. أما الطائر

الحى فسوف ينتهى به الأمر باستبدال «عامود الإدارة» خاصته مستمراً إلى أعلى مستقراً على أى هوائى تليفزيون فوق أى بيت فى البلدة، أو على فرع من فروع إحدى الأشجار، أو على سطح سياج شجرى لأحد المنازل، أو فى عش. وهكذا يبدو من الصعب أن تخمن مسبقاً إلى أين سينتهى به الأمر بالضبط.

وأنا كفيزيائى اعتدت على التفكير فى الأشياء أو المواد على أنها قابلة للتأثير على غيرها فى نفس الوقت الذى تقبل التأثير فيها من غيرها، وأن الاستجابة فى المجالين تكون عندما يتم إجبارها من قبل قوة خارجية - مثلما فى حالة الطائر الميت عندما انهدم على الأرض بتأثير شد من جانب قوى الجاذبية. ولكن المخلوقات الحية لديها «حياة» بالمعنى الحرفى، خاصة بها هى. كما كانت تشتمل فى داخلها على شرارة أو ومضة تمنحها الاستقلالية أو السيطرة الذاتية، حتى إنها تستطيع (ومن دون حدود) فعل أى مما يرضيها. حتى الباكثيريا فهى تقوم بما هو متطلب فيها ومنها وبطريقة صارمة. هل تكون هذه الحرية الداخلية، هذه التلقائية تعنى أن الحياة تتحدى قوانين الفيزياء أو أن الحياة العضوية تعتبر هذه القوانين مجرد عدة أو جهاز روتينى تستخدم قوانينه فى تحقيق ما تبتغيه؟ إذا كان الأمر كذلك، فكيف؟ وإلى أين تكون نهايات هذه الرغبات، بل من أين تأتى من عالم محكوم ظاهرياً بقوى عمياء لا هدف لها؟

هذه الخاصية المتعلقة بالاستقلال الذاتى، أو الحكم الذاتى يبدو أنها تلمس أكثر العناصر غموضاً والتي تُفرّق بين الأشياء الحية والأشياء غير الحية، ولكنه من الصعب معرفة من أين تأتى. ما الخواص الفيزيائية للنظام العضوى الحى التى تمنحه هذه الاستقلالية؟ لا أحد يدري.

الاستقلالية والحكم الذاتى يعتبران سمة مهمة للحياة، ولكن هناك سمات عديدة أخرى من بينها ما يلى:

**إعادة النسخ Reproduction:** النظام العضوى الحى لا بد أن يكون قابلاً لإعادة النسخ. وبالرغم من أن بعض الأشياء غير الحية مثل البلورات يمكنها أن تُعيد النسخ، بينما الفيروسات التى يعتبرها كثير من الناس أنها من الأحياء، فهى غير قادرة على التكاثر وحدها. البغال بالتأكيد هى من بين الأحياء ومع ذلك فهى عقيمة ولا يمكنها إعادة النسخ. والإثمار الناجح هو أكثر من مجرد نسخة طبق الأصل من الأصل وإنما لا بد أن يحتوى بدورها على نسخة من جهاز النسخ أيضاً. ولكى ينتشر التوالد وينتقل إلى الذرية فى جيل تالٍ فلا بد من إعادة نسخ وسائل إعادة النسخ فى نفس وقت إعادة نسخ الجينات ذاتها.

**الأيض (الهضم) Metabolism<sup>(\*)</sup>:** لى تصبح حياً على وجه صحيح فإن على النظام العضوى أن يفعل شيئاً. كل عملية كيميائية للنظام العضوى تنتقل عبر ردود فعل وتتابع معقد. وكنتيجة لذلك تقوم بتكديس الطاقة، لتجعلها قابلة للقيام بأهدافها مثل الحركة وإعادة النسخ. هذه العمليات الكيميائية وتحرير الطاقة تسمى «الهضم أو الأيض»، ومع أن ذلك لا يمكن معادلته بالحياة. لأن بعض النظم العضوية الصغيرة (الميكرو) يمكنها أن تصبح معلقة أو ساكنة لمدة طويلة مع توقيف كل وظائفها الحيوية. وسوف نعترض على اعتبارها من الموتى إذا كان ممكناً أن تعود إليها الحياة.

**الاغْتِذاء Nutrition:** وهذا قريب بدوره من الأيض. فإذا أنت احتبست نظاماً عضوياً حياً داخل صندوق مانع لتسرب الغاز أو أى شىء آخر، فخلال قدر معين من الوقت ستجد وظائف هذا النظام قد خففت وفى النهاية سيموت. إذن من الحاسم للحياة أن يكون ثمة إمداد دائم بالأشياء والطاقة. وعلى سبيل المثال فإن الحيوانات تأكل، والنباتات تخضع لنظام التركيب أو التمثيل الضوئى Photosynthesis. ولكن تدفق المادة والطاقة وحدهما لا يكفى للإمساك بعملية

---

(\*) الأيض باختصار هو العمليات الكيميائية فى الخلايا الحية التى تؤمن بها الطاقة الضرورية للعمليات الحية، والتى بها تُعوّض الطاقة المفقودة (المترجم).



الحياة. البقعة الحمراء الكبيرة لكوكب الزهرة عبارة عن دوامة من السوائل تبقى في دورانها بسبب تدفق المواد والطاقة. ولا أحد يقترح أنها حية. بالإضافة إلى أن الحياة لا تحتاج فقط للطاقة، إنما إلى شيء ما مفيد، أو طاقة حرة (مزيد من المعلومات عن ذلك ستجرى مناقشته فيما بعد).

**التعقيد Complexity:** كل النماذج المعروفة للحياة هي معقدة بشكل مذهش. حتى النظم العضوية وحيدة الخلية مثل البكتيريا فهي تشتمل على أنشطة مزدحمة تتكون من ملايين المكونات. وجزئيًا فإن هذا التعقيد هو الذي يضمن عدم قابلية العضو للتنبؤ بخياراته. ومن الناحية الأخرى فإن الإعصار والمجرة هما معقدان بدورهما، والإعصار معروف بعدم إمكانية التنبؤ بسلوكه. والكثير من النظم الفيزيائية غير الحية هي من التعقيد بحيث يصعب التنبؤ بسلوكها، بل وحتى يمكن أن تكون فوضوية الطابع random.

**التنظيم Organization:** ربما ليس التعقيد في ذاته هو الذي له معنى في الأمر. ولكن التعقيد المنظم. ومكونات أى نظام عضوى لا بد أن تتعاون مع بعضها البعض وإلا استداعى وظائف النظام ككيان متماسك. وعلى سبيل المثال فإن مجموعة من الشرايين والأوردة لا تكون نافعة وحدها من دون قلب يضخ فيها الدم. وزوج من السيقان لن يعرف تقدمًا في الحركة لو أن كل ساق منهما تتحرك وحدها وفي اتجاه مغاير للأخرى. وحتى داخل الخلايا المستقلة فإن درجة التعاون مذهشة. فالجزيئات لا تجرى في حياتها هكذا بشكل صدقوى، ولكنها تبدو نوعًا من أشكال المصانع أو خطوط الإنتاج داخل مصنع مع مستوى عال من التخصص: قسم للعمالة، وقسم يدير هذه العمالة لكي تتم عملية الإنشاء على وجه صحيح.

**النمو والتطور Growth and development:** النظم العضوية الحية المستقلة تنمو، والنظم المحاكية لها تميل إلى الانتشار (إذا كانت المشارطات صحيحة). ولكن كثيرًا من الأشياء غير الحية تنمو بدورها (البللورات، والصدأ، والسحب). هي سمة بارعة ورقيقة ولكنها تعطى معنى كخاصية للأشياء الحية،

وتعامل على أنها مستوى للتطور. إن القصة المشهورة عن الحياة على الأرض هي واحدة من التكيف التدريجي الثوري، كنتيجة للتنوع والجدة. التنوع هو المفتاح. إنها إعادة النسخ متضمنة التنوع هي وحدها التي تقود إلى التطور الدارويني. وربما نعتبر أننا نقلب المسألة رأساً على عقب بأن نقول: إذا ظهرت بالطريقة التي وضعها دارون، فهي ستعيش.

**احتواء المعلومات Information content:** في السنوات الأخيرة ركز العلماء على المشابهة بين النظم العضوية الحية والكمبيوترات. إنها مسألة حاسمة أن المعلومات ستكون محل احتياج في إعادة نسخ نظام عضوي معتمدة على الجينات المنقولة من الآباء لكي يحققوا الإثمار أو نماء الذرية. وهكذا فإن الحياة هي تقنية معلوماتية مكتوبة بخط صغير. ولكن مرة أخرى فإن المعلومات على هذا النحو لن تكون كافية. ثمة معلومات اعتراضية تعنيها الأوراق الساقطة في الغابة، ولكن هذا لا يعنى شيئاً. لكي تكون المعلومات قيّمة في مجال وصف الحياة لا بد أن تكون معلومات لها معنى للنظام الذي يستقبلها: لا بد أن ثمة «كتاباً» معيناً. وبكلمات أخرى فلا بد أن تكون المعلومات متخصصة. ولكن من أين جاء هذا الكتاب؟ وكيف لهذا التخصص النافع أن ظهر عفويًا في الطبيعة؟

**تشابك النظم المنظورة وغير المنظورة Hardware / Software**  
**entanglement:** كما سنرى فإن كل أنواع الحياة التي وُجدت على الأرض جاءت أرومتها أو نسبتها السلافية من صفقة مغلقة بين نوعين مختلفين في المستوى من الجزيئات: الأنوية الحمضية والبروتينات. وكل منهما يجير الآخر ليس على مستوى الخواص الكيميائية فقط، وإنما يذهب العقد بينهما إلى ما هو أبعد من ذلك، إلى قلب ما تعنيه الحياة، أو ما نعنيه بالحياة. الأنوية الحمضية تقوم بتخزين ما يمكن أن نسميه «سوفت وير» الحياة (الجزء غير المنظور) بينما البروتينات هي «الشغيلة» الفعلية التي تنشئ ما يمكن تسميته «الهاردوير» (الجزء المنظور). وهذان المجالان الكيماويان يدعم كل منهما الآخر لأن هناك اتصالاً عالى

التخصص والتقنية عبر قناة تتوسط بينهما، من خلال شفرة مسماه «الشفرة الجينية» هذه الشفرة وقناة الاتصال تلك كليهما يطوران نتاجاً لهما، له تأثير تطوير السوفت وير والهاردوير للحياة بطريقة تثير الارتباك والتناقض.

**الدوام والتغير Permanence and change:** ومتناقضة أخرى للحياة تتعلق بالرابطة بين الدوام والتغير. هذه المتاهة القديمة أحياناً ما يشير إليها الفلاسفة لمشكلة كيف أصبح سماويين. إن وظيفة الجينات هي إعادة النسخ، أى أن تحفظ الرسالة الجينية. ولكن من دون تنوع، ومن دون تكيف، فسوف تروى الجينات فى النهاية: تكيف أو مت؟ وهو الأمر الداروينى. ولكن كيف يتواجد «الحفظ» و «التغير» فى نظام واحد؟ هذا التناقض يقع فى قلب البيولوجيا. الحياة تزدهر على الأرض بسبب التوتر الإبداعي الموجود بين هذين المطلبين المتصارعين، ولكننا نظل من دون فهم كامل لكيف تتم المباراة.

وسيكون واضحاً أن ليس ثمة إجابة سهلة للسؤال الذى طرحه شرودنجر: ما الحياة؟ ليس ثمة تعريف بسيط أو خاصية بسيطة تميز بين الحى وغير الحى. ربما الأمر كذلك لأن العلماء يقدمون العالم الطبيعى كوحدة. وأى شىء يؤدي لوضع حد فارق بين الحى وغير الحى يخاطر بانحيازنا تجاه الاعتقاد بأن الحياة هى غموض أو سحر، أكثر منها منتسبة للطبيعية بالكامل. إنها خطأ كامل أن نسعى وراء خط فاصل بين النظم الحية والنظم غير الحية. حيث لا يمكنك أن تتزع الریش المرقط أو المزين لعنق الطائر ثم تعرفه بقلب الحياة غير القابل للإنقاص، مثل جزىء معين. ليس هناك شىء مثل الجزىء الحى، فقط نظام عمليات جزيئية يمكن أخذها بشكل جمعى، وهى التى يمكن وصفها بالحياة.

يمكننى تلخيص هذه الخصائص عن طريق الإقرار بأنه يبدو أن الحياة، وبشكل عام، تتعلق بعاملين حاسمين: الأيض وإعادة النسخ. ونستطيع أن نرى ذلك فى حياتنا نحن. لأن أهم أربعة أشياء أساسية يفعلها الكائن الحى هى: التنفس، والغذاء والشراب، والإخراج، والجنس. الثلاثة الأولى منها ضرورية للأيض

والأخير ضرورى لإعادة النسخ. ومن المشكوك فيه أن تجمعاً من الذوات لديها  
أيض من دون إعادة نسخ أو لديها إعادة نسخ من دون أيض يمكن أن نصفه بالحياة  
بالمعنى الكامل للكلمة.

### قوة الحياة.. وملاحظات غير قابلة للتصديق

بهذه السمات المراوغة للحياة، فإنه لا يدهشنا أن يلجأ بعض الناس لتفسيرات  
أو تأويلات ذات مصدر روحى أو صوفى لإيضاحها، ربما تم حشو أو انغرس فى  
النظم العضوية نوع من الجواهر أو الخلاصة أو الروح التى بعثت فيها الحياة؟ إن  
الاعتقاد بأن الحياة تتطلب جزءاً تم لها من شىء مفارق وراء وأكبر من أنها مادة  
عادية تطيع على نحو عادى القوانين الفيزيائية، هذا المعتقد معروف باسم «المذهب  
الحيوى» vitalism<sup>(\*)</sup>. إنه فكرة مضللة وذات تاريخ طويل. حيث اقترح الفيلسوف  
الإغريقى أرسطو Aristotle أن ثمة خاصية سماها «قوة الحياة» أو «النفس» أو  
«العقل» أو «الروح» "Psyche" هى التى وهبت النظم العضوية الحياة مميزات  
الملحوظة، خاصة تلك المتعلقة بالسيطرة الذاتية والحركة الذاتية «روح» أرسطو  
هذه تختلف عن «الروح» التى أشارت إليها المسيحية بعد ذلك، والتى يشار إليها  
بالمصطلح Soul كخاصية منفصلة ولها خصوصيتها. وبالطبع ففى السمت الذى  
اقترحه أرسطو فكل شىء فى الكون من المفترض أنه يشتمل على خواص تحدد  
سلوكه. وكأثر لهذه الفكرة فقد نُظر إلى الكون كله كنظام عضوى.

وعبر القرون فقد عاد ظهور فكرة «قوة الحياة» هذه ولكن فى هيئات  
مختلفة. ومن وقت لآخر تجرى محاولات لربط الفكرة مع بعض العناصر الخاصة  
أو المتكلفة كالهواء مثلاً، وربما لم يكن هذا غير عقلانى، لأنه بعد كل شىء فإن

---

(\*) ويقول المذهب الحيوى بأن الحياة مستمدة من مبدأ حيوى ولا تعتمد كلية على العمليات الفيزيوكيماوية  
(المترجم).



التنفس يتوقف بالوفاة، كما أن التنفس الصناعي يمكنه أحياناً من تجديد بعض الوظائف الحيوية وإحيائها. ومؤخراً فقد أصبح الدم هو الجوهر أو المادة مانحة الحياة. وهذه الأساطير القديمة ما زالت باقية معنا من خلال تعبيرات مثل «الحياة المتنفسة» "breathing life" أو «نزح أو استنفاد دورة حياة الدم» "draining away the life blood" كما لو أن هناك أكثر من نوع من الدماء.

ومع تقدم الفهم لدى العلماء، أصبحت قوة الحياة مشتركة مع مفاهيم أكثر تميزاً. فقد جرت دعاوى إلى أنها قابلة للمساهمة مع مادة «الأثير» أو «الفلوجستون» "phlogiston" (\*) أو "aether" وكليهما من الجواهر المتخيلة والتي أصبحت سيئة السمعة وغير قابلة للتصديق طبقاً لهذا المجرى من التفكير. وثمة فكرة ثانية كان لها شأو شعبي في القرن الثامن عشر، وتتلخص في تعريف قوة الحياة بالكهرباء. في هذا الوقت كانت ظاهرة «الكهربية» غامضة بدرجة كافية لأن تخدم هدفاً كهذا الهدف، والتجارب الشهيرة لـ: فولتا Volta أبرزت أن الكهرباء يمكن أن تشد بقوة عضلات الضفدع. كما أن المعتقد بأن الكهرباء يمكن أن تعيد إحياء المادة، ثم استخدامه بطريقة دراماتيكية في الرواية الشهيرة التي أبدعتها «ماري شيللي» Mary Shelley بعنوان «فرانكنشتاين» "Frankenstein"، والتي فيها الوحش - الذي تم تجميعه من أعضاء جثث الموتى - قد بُعث حياً عبر شرارة كبيرة من عاصفة رعدية. وفي أخريات القرن ١٩ حل النشاط الإشعاعي محل الكهرباء باعتباره آخر الظواهر الغامضة، وبالتالي جرت دعاوى بأن محلولاً من الجيلاتين، ربما تقطر ومعه الحياة إذا عرض لانطلاقات إشعاع بللورات الراديوم.

تلك المحاولات الباكورة لتفسير قوة الحياة تبدو لنا اليوم كنوع من العتث أو السخف. ومع ذلك فإن افتراض أن الحياة تتطلب شيئاً إضافياً للقوى الفيزيائية

---

(\*) وهي مادة كيماوية وهمية، وكان يُعتقد قبل اكتشاف الأوكسجين أنها من المقومات الأساسية للأجسام الملتهبة ومن هنا جاءت تسميتها «اللاهوب» (المترجم).

المعتادة، عاش جيدًا خلال القرن العشرين. ولمدة طويلة كان الظن أن الكيماويات التي تصنعها النظم العضوية تختلف عن باقي العمليات الكيماوية. وحتى اليوم فإن مسألة الكيمياء تنقسم إلى ما هو عضوى وما هو غير عضوى. وكان تطبيق ذلك يتمثل في أن المواد العضوية مثل الكحول **alcohol** والفورمالين **formaldehyde** واليوريا **urea** بشكل أو آخر تحفظ الجوهر السحري للحياة، حتى عندما يتم فصلها عن أى نظام عضوى حى. وعلى سبيل المخالفة فالمواد غير العضوية مثل الملح العادى **common salt** فهو ميت مائة بالمائة.

وقد كان نوعًا من الصدمة عام ١٨٢٨ عندما حاول فريدريش وولر **Friedrich Wohler**، أن يصطنع اليوريا من سيانيد الأمونيوم **ammonium cyanate**، وهو مادة غير عضوية. خارقًا بذلك القانون الحائل بين ما هو عضوى وما هو غير عضوى، موضحًا، بذلك، أن الحياة نفسها ليست ضرورية كي تصنع مواد عضوية. داحضًا فكرة أن الكيماويات العضوية تختلف بحدة عن غيرها. وسرعان ما انتهت فكرة الفصل هذه. وأصبحت مجموعة مألوفة من المبادئ ستحكم من الآن فصاعدًا عالم الكيمياء للأحياء وغير الأحياء معًا. والآن نحن نعلم أن الذرات تدور فى المحيط الحيوى إلى داخل وخارج النظم العضوية الحية طول الوقت. وكل ذرة كربون فى جسدك متكافئة تمامًا مع أى ذرة كربونية فى الهواء أو فى كومة من الطباشير. ليس ثمة سحر أو غموض فى نشاط يرى أن ذرات الكربون فى جسدك حية، أما الباقيات منها حولك تكون ميتة. ليس ثمة خاصية شبيهة الحى تتطلبها ذرة الكربون عندما تأكلها، وأن تكون غير حية حينما ترسلها خارجك عبر إحدى تهيداتك.

وبالرغم من ضبابية وغموض التميّز بين كيماويات عضوية وأخرى غير عضوية، فقد عاش المبدأ الحيوى حيث عممه بعض الفلاسفة المعروفون جيدًا مثل «هنرى برجسون» **Henri Bergson** فى فرنسا. وفى الواقع قد دخل إلى مرحلة علمية مع أعمال إخصائى ألماني فى علوم الأجنة يدعى «هانز دريش»

"Hans Driesh" في تسعينيات القرن ١٨. لقد كان دريش متأثراً بالطريقة التي يمكن فيها للجنين أن يكون متشوهاً في مراحل نموه المبكرة، ومع ذلك يبقى ويشفى وينتج كائناً حياً صحيحاً وعادياً. مثل هذه الملحوظة وغيرها من الخواص الملحوظة في نمو الكائن الحي قادت دريش لاقتراح أن بروز الشكل الصحيح للكائن الحي، بكل تعقيداته التي يصعب تحليلها، يعنى أنه خاضع لسيطرة قوة حياة تقود العمليات والتي اصطلح لها المسمى: «إنتيليشي» "entelechy". كما أدرك أن تلك الخواص الآمرة لتلك القوة المسيطرة سوف تكون في موضع التصارع مع القوى الفيزيائية العادية ومع قانون حفظ أو بقاء الطاقة. ولذلك اقترح أن «الإنتيليشي» تتصرف على نحو يؤثر على توقيت تفاعلات الجزيئات بطريقة تنتج نموذجاً له مرتبة أعلى ومتعاوناً.

ولو أن نمو الجنين ظل غير مفهوم كلياً، ولكن ما عرف عنه وعن النموذج التشكلى البيولوجى فى عمومه كان كافياً لإقناع البيولوجيين بأن الـ «إنتيليشي» أو أى وجه آخر للنظر فى مفهوم قوة الحياة، ليس من قبيل الضرورة التعقيدية. وهذا لم يمنع كثيراً من غير العلماء من التمسك بأفكار المبدأ الحيوى حتى اليوم. والمعتقدات فى ذلك تتراوح بين الظاهرة العلمية مثل صورة كيرليان Kirlian التي تظهر نوعاً من الإكليل أو الهالة تتوهج حول يد المرء والتي ترجع إلى وضعها فى مجال كهربائى قوى، إلى حتى الأفكار الصوفية الغامضة والجزئية أو غير الخجولة لـ «الين» "yin" و«اليانج» "Yang" عن الطاقة المتدفقة، والكارما Karmas، والشرارة التي تظهر منها فقط عند منح «الروح» "Psychi". ولسوء الحظ بالنسبة للصوفيين فليس ثمة تجربة علمية مسيطر عليها، قد تم إجراؤها على نحو صحيح عن قوة الحياة وهى تعمل، ولا نحن فى حاجة لقوة تفسر ما الذى يجرى داخل كائن بيولوجى حى.

وسبب آخر لرفض الشروح الحيوية للحياة وهو أنها بالكامل تخص سلوكاً أو تكاد تكون منشأة كلية لهذا الغرض. ولو أن قوة الحياة تعبر عن نفسها فقط فى الأشياء الحية، فسوف تكون له قيمة تفسيرية ضعيفة وربما لا قيمة على الإطلاق.

ولكى نجعل هذه النقطة واضحة، دعنى استخدم تشابه آلة بخارية قادرة على الحركة. فإذا سألت ما هى هذه الآلة وكيف تعمل، فإن أى مهندس يمكن أن يعطيك إجابة تفصيلية عن هذا السؤال. يمكنه أن يخبرك عن الصمامات والنقاط المتحركة وضغط البخار وقواعد الديناميكا الحرارية فى مجال الإحراق. ويمكنه أن يرشدك إلى أضرار الحركة التى تؤدى إلى حركة العجلات. ويمكنه أيضاً أن يشرح لك شموع الاحتراق وكيف تعطى وميضاً يؤدى إلى قذف شعلة وبخان دافع للحركة.

والآن لا بد أن يكون موضوعاً أن تقديرات المهندس ولو تفصيلية وكاملة، تظل بعيدة عن خلاصة الآلة، الشيء الذى يمنح مجرد كمية كبيرة متصلة من الأجزاء المعدنية هذه القوة المثيرة، «صاحبة الجلالة»، الحركة المتوافقة الأنيقة، معنى الحضور الذى يجعل المرء يتشارك مع آلة متحركة بخارية. وهكذا هل علينا أن نفترض ذلك أنه بالإضافة لأنها تَجْمَع من محتويات معدنية، فإن الآلة يجب شحنها بهذا المَوْجَه traininess الذى يجعلها آلة حقيقية؟

بالطبع الأمر عبثى. أين نجد هذا المَوْجَه أكثر مما نجده فى قطار؟ الآلة البخارية ببساطة هى مجموعة القطع والأجزاء المكونة لها ومرتبّة بالطريقة التى هى عليها وليس هنا شيء إضافى تتضمنه ولا ذاك المَوْجَه، الذى يمكن أن يضيفه الصانع ليجعل من الآلة شيئاً حياً من أجل الغرض الذى قُصد بها. وبالمثل فإن السعى لفهم أصل الحياة، يحدو بالعلماء للنظر إلى العمليات العادية التى تقوم بها الجزيئات لكى يفسروا ما يحدث، وليس من أجل «قوة حياة» خارجية يمكن أن يحيى مادة ميتة. والذى يجعل الحياة مهمة هكذا، وما يميز الحى من غير الحى، ليس هو مما يتألف الكائن الحى، ولكن كيف تجمعت هذه الأجزاء وتعمل مع بعضها ككل.

وبالرغم من الحقيقة القائلة بأن المبدأ الحيوى أصبح سيئ السمعة وغير قابل للتصديق به. فإن أصل الفكرة يظل صحيحاً. ليس هناك شيء مادي، أو أى شيء داخل الكائن الحى، شيء فريد وحرقي وحيوى للعملية المنوط بها. ليست خلاصة



أو قوة أو ذرة لها حيوية. هذا الشيء الزائد هو نوع معين من المعلومات، أو باستخدام الرطانة الحديثة «سوفت وير» أو غير المنظور.

### قصة الجزئ القديم (الأول):

في داخل كل واحد منا تكمن رسالة. وهذه الرسالة موصوفة في شفرة قديمة، وفقدت بداياتها في ضباب الزمن. وشفرة الرسالة هذه تحتوى على تعليمات لكيف يُصنع الكائن البشرى. ولا أحد كتب هذه الشفرة ولا أحد اخترعها. لقد أتت للوجود بشكل عفوى وتلقائى. وكانت التى قامت بالتصميم هى «الطبيعة الأم» ذاتها، وهى تعمل داخل قوانينها الثابتة، كاتبة بحروف استهلاكية كبيرة على التقلبات الصدقوية الصعبة. والرسالة ليست مكتوبة بالحروف أو الحبر ولكن فى الذرات المرتبطة معًا يجمعها ترتيب تعاونى متعاقب لتشكيل ما يعرف بالرمز (دنا) DNA، وهى الحروف الأولى للمصطلح Deoxyribo Nucleic Acid، وتعنى الحامض الريبوى الذرى الكنزوع الأكسجين، إنها أغرب جزئي على الأرض.

الدنا البشرى يحتوى على عدة بلايين من الذرات مترابطة مع بعضها فى شكل مميز فى زوجين من الخطوط المضفرة. هذا الشكل الشهير اللولبى المزدوج سوف يتحول إلى حزمة ذات شكل التفافى. وإذا قمت بفرد الدنا فى ذرة واحدة من جسدك فسوف تصنع خيطاً بطول مترين. هذه جزيئات كبيرة بالطبع!

ومع أن الدنا هو منشأ مادي، فهو محمل بالعديد من المعانى. إذ إن ترتيب الذرات فى هذا الخيط الحلزوني من الدنا سوف تقرر كيف سيبدو شكلك، وإلى درجة ما كيف تتصرف وكيف سيكون شعورك. الدنا ليس أكثر من «الطبعة الزرقاء» (الطبعة المبدئية قبل النهائية)، وبطريقة أكثر دقة هو نوع من الجبر أو التعليمات اليدوية لبناء كائن حى متنفس ومفكر.

ونحن نشارك مع كل أشكال الحياة على الأرض في هذا الجزيء السحري. من الفطر إلى الحشرات الطائرة ومن البكتيريا حتى الدببة، للكائنات العضوية منحوتة طبقاً لتعليمات الدنا الخاصة بها. وفي كل شخص منا فإن الدنا تختلف عما هي في أي شخص آخر على الأرض (فيما عدا التوائم المتطابقة)، وتختلف أكثر بالنسبة لأنواع الكائنات الأخرى، ولكن البناء الرئيسى والبنية الكيميائية والتصميم الحزوني المزجج، كل ذلك عالمى السمة أى يشترك فيه الكل.

الدنا قديم بشكل لا يصدق وغير متخيل. لقد تواجد تقريباً منذ ٣,٥ بليون من السنين. بحيث يجعل من عبارة «قديم قدم التلال» وكأنها بلا معنى. الدنا كان موجوداً قبل أى تَلَّ على الأرض. ولا أحد يعرف كيف وأين تشكل أول جزيء دنا. وبعض العلماء حدسوا أنه ربما كان غازياً من الفضاء، جزيء قادم من المريخ ربما، أو من مذهب هائم. ولكن على الرغم من تواجد أول حبل من الدنا فإن الدنا خاصتنا وكأقرب احتمال ينحدر مباشرة من هذا السلف – هذا والخاصية التى تبتعد بالدنا عن أى جزيئات كبيرة أخرى فى الكائن الحى، وهى خاصية حاسمة وأعنى بها قابليته لإعادة نسخ نفسه. ولكن الدنا يعيش عملية صنع مزيد من الدنا، أجيالاً بعد أجيال، وتعليمات تليها تعليمات، منظماً شلالاً عبر العصور أو سلسلة لا تتقطع من النسخ بدءاً من الميكروبات ووصولاً إلى الإنسان.

نسخ مثل هذا الشيء فقط من ذات النوع. والنسخ التام من الدنا سوف يقود إلى كوكب مغمور كلية أو إلى أقصاه **Knee-deep** من كيانات عضوية وحيدة الخلية المتطابقة. ومع ذلك فليس ثمة نسخ يمكن الاعتماد عليه كلية. إن طابع النسخ الآلى قد يوجد بعض النقاط الشاردة فى النسخة، كما أن خطأً تليفونياً يتسم بالتشويش قد يشوه عملية نقل رسالة، وكمبيوتر به خلل ما قد يفسد قائمة معلومات عند نقلها من الأسطوانة الصلبة إلى أسطوانة صغيرة floppy وعندما تقع أخطاء فى عملية إعادة نسخ الدنا لذاته، فيمكن أن تظهر هذه الأخطاء فى شكل تحول أو تغير مهم فى الكائن العضوى الوارث. فى الغالب يكون التحول مدمراً، مثل كلمة

عشوائية يمكن أن تتسبب في تشويه عبارة جملة أو قصيدة قصيرة لـ: «شكسبير» "Shakespeare". ولكن مصادفة، وفقط بالمصادفة، ربما ينتج خطأ ما نتيجة إيجابية ونافعة، مانحاً ميزة للمتحول. وإذا كانت الميزة حافظة للحياة، وتمكن الكائن العضوى من إعادة إنتاج نفسه بكفاءة، فإن الجزء المعطوب من الدنا لن يعيد نسخ نفسه وسيصبح المنسوخ الجديد سائداً. وعلى سبيل الحديث لا أكثر إذا كان الخطأ المنسوخ قد صادف كائناً ذا إمكانية تكيف ضئيلة فإن قيد التحول هنا ربما يزول بعد أجيال قليلة ملاحياً هذا التنوع المعين أو فرع الدنا هذا.

هذه العمليات البسيطة من إعادة النسخ، والتنوع والاستبعاد هي نفسها أساسيات المنظور الداروينى. والانتخاب الطبيعى - التمحيص الدائم للمتحوّلين طبقاً للياقتهم - يعمل مثل ترس السقطة يحافظ على الأخطاء التى تمثل مميزات ومقاصياً تلك التى تعتبر سيئات. ابتداءً من دنا بعض أسلافنا البدائيين «الميكروب» فإنه قطعة بعد قطعة، وخطأ بعد خطأ فإن طول التعليمات المتزايدة لبناء كائن أكثر تعقيداً أصبحت فى متناول الإنشاء.

يجد بعض الناس غضاضة فى ابتلاع هذه الفكرة: أن كثيلاً للتعليمات يكتب نفسه بمجرد مراكمة أخطاء نشأت بالمصادفة ولذا دعنى أعيد مناقشة الموضوع مرة أخرى، مستخدماً القليل من المجاز أو الاستعارة فكَرٌّ فى المعلومات المتوافرة لدى الدنا، كأنها سيمفونية كبيرة بالطبع وجبارة بشكل استثنائى كمقطوعة أوركستراالية تضم مئات العازفين يعزفون آلاف «النوتات». وبالمقارنة فإن دنا السلف القديم ليس إلا مقطوعة موسيقية صغيرة Melody فكيف لهذا اللحن الصغير أن ينقلب إلى سيمفونية؟

افترض أنه طلب من أحد الناسخين أن يكرر نسخ اللحن الأساسى كخط بداية لقطعة موسيقية. ولكن فى إحدى المرات تتحول النغمة «دو» إلى النغمة «رى». إن مجرد انسياب ضئيل للقلم قد ينتج تغيّراً طفيفاً فى درجة السرعة أو الحركة أو يجعله فى مستوى معين. بالصفة فإن خطأ أكثر جدية يؤدى إلى خلل كبير فى النوع. جزء

كامل من النوع يتم عزله أو إقصاؤه أو يتم تكراره ربما. أغلب هذا النوع من الأخطاء يفسد توازن الهارمونية (تلاؤم الألحان مع بعضها البعض) حتى إن الهدف المطلوب لا يبقى مستخدماً. ولا أحد سيرغب في الاستماع للمعزوفة الموسيقية. ولكن بالمصادفة أيضاً فإن الانسياب الصغير من القلم قد يضيف لحناً متخيلاً جديداً جميل السميت، أو إضافة ناجحة أو تغييراً حميداً، بمجرد المصادفة. ستتحسن النغمة وستصبح مقبولة ومصدقاً عليها في المستقبل. والآن تخيل أن هذه العملية من التحسن والمدرسة جيداً، استمرت على مدى تريليونات العمليات من إعادة النسخ. ببطء ولكن تأكيداً فإن النغمة سوف تتطلب سمات جديدة، مطورة بناءً لحنياً أثرياً متحولة إلى سوناتا وبعدها إلى كونشرتو وحتى متطورة إلى سيمفونية.

النقطة الحاسمة في هذا المجاز، والتي لا يمكن الضغط عليها بشدة، هي أن السيمفونية تأتي للوجود دون أن تكون لدى الناسخ أى فكرة معرفية ولو بسيطة بالموسيقى أو حتى كانت خارج مجال اهتمامه. ربما يكون الناسخ أصم منذ ميلاده ولا يعلم شيئاً أياً كان عن الألحان. وهذا لا يهم، لأن وظيفة الناسخ لا تتعلق بالتأليف الموسيقى ولكن تتلخص في نسخها فقط. والذي لم يكن المجاز صائباً بشأنه أو فيه هو عملية الاختيار. باعتبار أنه لا يوجد موسيقى عالمي يُدقق في هدف الحياة أو يقوم إزاءها بعملية اختبار للجودة. هناك فقط الطبيعة حادة الأسنان والمخالب مؤظفة لقانون بسيط ولكنه ناشب مخالفه: إذا كان يعمل بفاعلية احتفظ به، وإذا لم يكن كذلك اقتله.

و«يعمل» هنا تُعرف بمقياس وحيد فقط، هو «إعادة النسخ» بكفاءة. وإذا نتج الخطأ في مزيد من النسخ التي صنعت، فهو بالتعريف، ودون أى اعتبارات أخرى، «يعمل»، أى لو أن «أ» نسخت «ب» ولو بأبسط هامش، فإنه مع تعاقب الأجيال سوف يكون هناك الكثير من «أ» بأكثر من أعداد «ب» ولو حدث أن «أ» و«ب» تزاخما إلى حد التنافس على المساحة التي يحتلها كل منهما، فعما قليل سوف تقصى «أ» «ب» كالية. أى تبقى «أ» حية، بينما تموت «ب».



الداروينية تعتبر المبدأ المركزي، الذي يدور حوله فهمنا لكيف تتبنى البيولوجيا. إنها تقدم لنا تفسيراً اقتصادياً قصيراً وبلا تزيُّد عن كيف لرسالة جينية نسبية أن تجتهد وتتقن تعاليمها عبر العصور والدهور لتنتشئ جزيئات الدنا المعقدة لدرجة إنتاجها إنساناً. ما دام كتاب التعليمات: الدنا «البشير»، قد تواجد في المقام الأول، إذن فإن الأخطاء العشوائية والاختيار ربما يكونان قادرين على إبرازها أو ظهورها. الجينات الجيدة تبقى والجينات السيئة تُستبعد. وفيما بعد، سوف أناقش مدى وفاء هذا التفسير الصارم للمطلوب. ولكن الآن فأنا مهتم بنقطة البداية هذه. ومن الواضح أن التطور الدارويني يمكنه أن يعمل فقط عند تواجد نوع ما من الحياة (بصريح العبارة فهو لا يتطلب الحياة بكامل مجدها وزهوها باعتبارها إعادة نسخ وتتنوع واختيار). الداروينية لا تقدم لنا أى مساعدة في مجال شرح الخطوة الأولى المهمة: أصل الحياة. ولكن المبدأ المحورى فى الحياة يفشل فى تفسير أصل الحياة. لقد تركنا مع معضلة. ما هو المبدأ الآخر أو المبادئ التى تشرح لنا كيف بدأت؟

لحل هذه المشكلة لا بد أن نسعى إلى «مفاتيح» - أين نبحث عن هذه المفاتيح عن أصل الحياة؟ من أحسن الأماكن التى يمكن البدء بها هو أن نسأل أين بدأت الحياة ذاتها. فإذا ما اكتشفنا المكان الذى بدأت فيه الحياة فربما نكون قادرين على تخمين الظروف الفيزيائية التى صاحبت البداية. وبعدها نشرع فى دراسة العمليات الكيميائية التى حدثت فى ظل تلك الظروف، وأن نبني صورة للمرحلة قبل العضوية قطعة بعد قطعة.

### الميكروبات والبحث عن جنة عدن:

عندما كنت شاباً يافعاً كنت مجبراً على الالتحاق بما يعرف بـ «مدارس الأحد» والذي كان يمثل لى نوعاً من التعذيب الذى كرهته. والذكرى الإيجابية

الوحيدة الباقية لى من هذه التجربة، هى تصفح كتاب مصور يصف حدائق عدن **Garden of Eden**. وكانت الصورة الفاتنة التى تأخذ باللب تُعبّر عن مساحة من الأرض منظمة حيث تظل الشمس مشرقة دوماً، والحيوانات المجلوبة تزار دون خوف، حيث إنهم جميعاً نباتيون. وكانت تمثل مفارقة قياس بينها وبين حى لندنى إنجليزى كئيب. ومن المحزن أن جنة الكتاب المقدس تحولت لدى إلى أسطورة. ولم يزل هناك مكان، حيث عاشت فيه الكائنات الباكرة. نوع من «عدن» العلمية. أين يقع هذا المكان؟

أنا أكتب هذا الفصل فى يوم ربيعى، فيه وابل من المطر يسقط على تلال «أدليد» **Adelaide**. أمطار الشتاء قد حولت المشهد الريفى إلى اللون الأخضر. إلى حيث أوجة بصرى أجد غطاءً عاليًا من الأشجار العملاقة فوق شجيرات صغيرة وافرة وكثيفة، وثمة أشجار أصغر وحشائش تملأ المكان. وأيضًا ثمة عصافير تتقض من الأعالي وتتوهج ألوانها الزاهية وهى تتنقل عبر أفنان الشجر وتختفى تحت أوراق الشجر المتساقطة على الأرض، الثعابين والسحالي والعناكب والحشرات. وهناك أيضًا أرانب وبوسمات **possums** (الحيوان المتماوت) وفئران وقنافذ النمل **echidnas**، وأيضًا الحيوانات مثل الكاولا **Koal** والكانجرو **Kangaroo**. حتى فى هذا الريف الجاف تبدو الحياة رائعة وملينة بالحيوية.

التنوع المحض فى الأشياء الحية قد بعث السرور عند الناس على مدى آلاف السنين، ولكنها أصبحت محل مقارنة بعد اختراع المايكروسكوب، حيث تم كشف التقسيم الحقيقى فى الحياة على الأرض. حتى بالنسبة للطبيعيين المندهشين للثراء البيولوجى فى غابة مطيرة أو من حيد صخرى من المرجان. تظل هناك وفرة قابعة غير مرئية حولهم. وهو مجال الكائنات العضوية المجهرية، الكائنات وحيدة الخلية ذات الحجم الذرى والتى تسكن تقريبًا، كل ركن أو زاوية متاحة أو أى صدع أو شق على هذا الكوكب. والتى طويلاً ما تم استبعادها كمجرد جراثيم فقد أصبح معروفًا الآن أن الميكروبات تسيطر وتحكم شجرة الحياة. ويمكنك أن

تذهب إلى حديقتك الخلفية كما يقول جون هولت John Holt من جامعة ولاية ميتشجان<sup>(٥)</sup>، ولو فعلاً ركزت عليها عقلياً، فسوف تعثر على آلاف الأنواع الجديدة في وقت ليس بالكثير. وثمة توقف هنا لإبداء تعليق يبدو شديد المبالغة: يشتمل ملء ملعقة من التربة الجيدة على نحو عشرة تريليونات من البكتيريا، والتي تمثل عشرة آلاف نوع مختلف! وعلى الجملة فإن كتلة الكائنات الماكروية على الأرض يمكن أن تكون كبيرة، لدرجة أن وزنها يبلغ مائة تريليون طن، أكثر من وزن كل الحياة المنظورة على الأرض لو تم تجميعها معاً.

ويجب أن تكون متأكداً، أن التأثيرات الفيزيائية التي تسببت فيها الكائنات العضوية الماكروية هي عادة تأثيرات منظورة: عبر الأمراض الناجمة عن التلوث، ومن خلال تخمر الكحول، وانحلال أو تفسخ الطعام، وتلك مجرد أمثلة. وحتى مع ذلك، فإنها دوماً ما يُستخف بها أو يُبخس قدرها بمعرفة البشر، ربما لأنها صغيرة جداً عنا. ويعتقد «ستيفن جاي جولد» Stephen Jay Gould أن علينا أن نخفف من هذه الشوفينية Chauvinism، بأن نطلق على العصر الحالي: «عصر البكتيريا» بحيث يشتمل تعداد هذه الكائنات الرفيعة القوام حقيقية على ما يفوق، بل يكاد يسحق كل تعداد النسمات والأنواع الأخرى<sup>(٦)</sup>. وبالمقارنة فإن الكائنات العضوية المعروف بأنها أعلى مستوى، مثل البشر والكلاب وزهور الربيع، تشغل مجرد أفرع بعيدة عن مركز شجرة الحياة.

والحجم ليس وحده السبب في أننا لا نلقى نظرة فاحصة على الميكروبات. وإنما لأنه ليس سهلاً زرعها في المعامل، بينما هناك الكثير منها في البراري، ولكن في حالة قصور ذاتي، وليس على الأسطح الخارجية لتلك البراري، وأيضاً فإن كثيراً من أنواع البكتيريا المختلفة تبدو وكأنها متطابقة على نحو مخادع، وليس قبل مؤخراً أن استطاع علماء الميكروبيولوجيا أن يمسكوا بها في مجموعات كطريقة لتصنيفهم. والآن مع التقنيات القوية في عالم الجزيئات وتعاقبها، فإن اختلاف الأرومة قد تم الكشف عنه: والبكتيريا التي تبدو متشابهة تحت المجهر، ربما تتحول للمشاركة مع أرومات قليلة بأكثر مما تفعل مع الإنسان.

وقد أشار جولد بوضوح إلى أن عصر الباكثيريا، عصر دائم، لأن معظم دورات الحياة التي وجدت فوق الأرض لم يكن فيها إلا الميكروبات. هذا التصريح المتسم بالرزانة، يمثل فرصة رغم هذه السمة. لأن بداية الحياة بالميكروبات يتيح لنا توقع العثور على مفاتيح مهمة عن أصل الحياة بدراسة الأمثلة الحية منها. والأمل في أن البعض منها سوف يحتوى على رفات باقية فيه من الماضى البعيد فى شكل تكوين غير عادى. وآثار من العمليات البيوكيماوية، ربما تكون باقية عبر سمات فائضة، المعادل الميكروبي للزائدة الدودية البشرية. وحتى إنه من الممكن أن تكون الميكروبات الحية حاملة جزيئات فائضة من العالم قبل البيولوجى.

وبوضع قطع أو شرائح المعلومات من الميكروبات الحية مع بعضها البعض، فمن الممكن أن تظهر لنا كيف كانت تشبه الكائنات الحية من أسلافنا، وأن نخمن أين وكيف كانت تعيش. ولسوء الحظ أنك لا تستطيع بمجرد النظر أن ترى كيف كان تاريخ تطور الكائنات الحية الماكروية. إذ إن لها سمات تشريحية قليلة يمكن تصنيفها من خلالها. لا أذرع ولا سيقان، لا خياشيم ولا رئات، لا عيون أو آذان يمكن أن تعرض نفسها علينا لعقد المقارنات، وكما سأشرح فيما بعد الدليل الذى يربط بين الميكروبات وأسلافهم القدامى، والذى يكمن بقوة فى تركيبها الجينى البيوكيماوى، والطرق الأيضية التى تستخدمها. ولحسن الحظ فإن تقنيات البيولوجيا الجزيئية الحديثة تسمح بالفحص الدقيق لمثل هذا الدليل. مثل نفايات فى كتاب شبه منسى من لفائف الورق، فإن هذا الاختبار لهذا الدليل الجزئى قد تم محوه جزئياً بسبب عوامل التعرية أو التلف الذى يحدثه تعاقب الزمن، ولكنه يقدم لنا لمحات مغرية عن تطور وقع فى الماضى الممتد لما يقرب من أربعة بلايين من السنين.

وبوجود المعرفة بأن هناك العديد من أنواع الميكروبات، فأين يجب أن يتركز بحثنا عن المفاتيح الجزيئية؟ اليوم فإن ثمة باكتيريا مفعمة بالحياة أو ناشطة ومركبة من تأليف من التمثيل الضوئى **photosynthesizing**، وهذه هى التى يجب أن نلاحظها، ولكن منذ أكثر من بليونين من السنين، لم يكن ثمة أكسجين، وإنما كان



موجودًا بدرجة قليلة على الأرض ومع ذلك ازدهرت الميكروبات في شكل تنوع سكاني، مُخمّرة الكحول ومُنتجة للميثان methane، ومقللة من الكبريتات sulphate. هذا وقد احتفظت بعض الميكروبات على مستوى معيشتها القديم حتى اليوم. وهذه بالذات هي أكثرها إمكانية لتقديم مفاتيح للأشكال القديمة للحياة. والتي تقترح فكرة مخادعة أو مضللة، افترض أنه باقية للآن كوة أو بيئة ما مظلمة، مكان غريب دخيل بحيث تتشابه شروطه مع كويكب واحد من آلاف الأجرام السيارة، التي تجرى بين المريخ والمشتري، والذي يقذف بالحمم باستمرار، والمغطى بالغازات والذي يغلي كجهنم – ذاك هو كوكب الأرض في حالته البدائية؟ وإذا نظرنا بعناية، فربما نعثر على رفاة كائنات عضوية كانت تعيش هناك، ميكروبات ربما تغيرت قليلاً منذ فجر بزوغ الحياة.

هل هذا ممكن؟ هل يمكن وجود مكان كهذا؟ الإجابة هي نعم هذا ممكن، ونعم يوجد مكان كهذا، وموقعه يثير الدهشة بقدر ما هو مظلّم. هناك في أعماق البحر البعيدة، على الأرضية المظلمة للمحيطات، بعض الأماكن، حيث تتمدد قشرة الأرض وتتمزق، مدفوعة بتأثير القوى الحرارية في العمق البعيد للأرض. والطبقة الصخرية لقاع البحر تتحول باستمرار من مكان لمكان، وتجهّد نفسها عبر تمزقها، محدثة صدوعاً وشقوقاً. وهنا وهناك في وسط المحيط سلسلة جبال وتلال مكونة، أو تكون موضعاً للصخور المنصهرة المدفوعة للمياه المتجمدة فوقها والحمم المترسبة في قعر المحيط، تنكمش وتططق أثناء تصدعها في حال تعرضها للبرودة، منشئة ما يشبه النسيج الخلوي من الصدوع والأنفاق التي تمر عبرها المياه بتأثير تيارات الحمل الحراري منيعة المعادن في هذه العملية. وعند هذه الفتحات «تنقياً» الأرض من ذلك الحين وبعده تيار من السائل اللافح، «مُتبّل» بالكيمائيات بشكل حر، إن قسوة وضراوة هذا السائل اللافح في مواجهته مع مياه البحر الباردة ينشئ مركزاً للجسيم الحراري والكيمائي.

ويبدو مستحيلًا أن نتخيل أن ثمة أى شكل من أشكال الحياة، يمكن أن يحيا فى ظل هذه المشارطات الخشنة، التى يمكن اعتبارها من بقايا «الجحيم» Hades، أكثر منها بقايا الجنة أو «حدائق عدن» Garden of Eden. ولكن من المدهش، فإن هذه الفتحات البركانية فى المحيطات تمثل وطنًا للتنوع ثرى من الميكروبات بعضها يعتبر آثارًا من البيولوجيا القديمة. هنا فى ظلمة الأعماق البركانية يقيم أقرب النظم العضوية، التى نعرف أنها أول كائنات عاشت على الأرض. وفى الفصول القادمة، سوف أصف كيف كانت الاكتشافات المروعة لحشرات فائقة الحجم، تنمو تحت سطح البحر وتحت سطح الأرض، والتى غيرت تفكيرنا عن أصل الحياة وإمكانية الحياة فوق المريخ وفى أى مكان آخر.

ولكن مبدئيًا يجب أن أشرح القليل حول المبادئ الرئيسية للكيمياء الحيوية. وبصفة خاصة فيما يتعلق بقوانين الديناميكا الحرارية.

## الهوامش

(١) المصادفة والضرورة **Chance and Necessity** لـ: جاك مونود **Jacques Monod**

.(trans. A, Wainhouse, Collins London 1972, p. 167)

(٢) الحياة ذاتها: طبيعتها وأصلها **Life itself: Its Nature and Origin** لـ: فرانسيس كريك **Francis Crick**

.(Simon & Schuster, New York 1981, p. 88)

(٣) يورو: يورو **Yorro Yorro** لـ: دافيد موالجارلاي وجوتا مالنيك **David Mowaljarlai and Jutta Malnic**

.(Magabala Books, Broome, Western Australia 1993, Chapter 23)

(٤) نظرية السلالة العامة **Common descent** كانت قد اقترحها بالفعل جد تشارلز دارون إيراسموس دارون **Erasmus Darwin** في علم الحيوان أو قوانين الحياة العضوية.

.(London 1794) **Zoonamia or the Law of Organic Life**

(٥) العلماء الجدد **New Scientist** (10 Februry 1996, p. 26).

(٦) جلال الحياة **Life's Grandeur** لـ: ستيفن جاي جولد **Stephen Jay Gould**

(Jonathan Cape, Lodnon 1996, Chapter 14) وسأعود إلى هذا الموضوع في الفصل العاشر.





## الفصل الثانى

### عكس اتجاه المد

«عندما نرحل نترك خلفنا آثار أقدام فى رمال الزمن»

هـ. دبليو. لونجفيلو<sup>(١)</sup>.

H.W. Longfellow

فى أيام طفولتى، كانت رحلاتى لشاطئ البحر تمثل لى مناسبات لها وزنها. وأكثر ذكرياتى الحية عن هذه الرحلات إلى جانب نباتات وطحالب البحر وأسماك «الجيلى فش» وساعات الغروب والشروق فوق المحيط. أذكر جيدًا دهشتى الصادمة من مشاهدتى لعدة نقوب صغيرة (حفر) فى الرمال الناعمة للشاطئ يتركها المد وراءه بعد تراجعته. وهذه الحفر مزينة بركام من الرمل يلتف حولها فى شكل «نقائق» (سجق) رفيع تتفرد حوافه للخارج من استدارته تدريجيًا إلى أن يتساوى مع السطح، أشبه بمعجون الأسنان، عندما تضغط على الأنبوبة ليخرج إلى الفرشاة. وكان ما عجبت له هو سبب هذه التشكلات المميزة الغريبة؟ لم أشهد واحدًا منها خلال عملية نشوئه، ودائمًا ما يتم محوها بالمياه أثناء عودة المد تمامًا مثل آثار أقدامى فى الرمل بذات الموقع.

أعلم الآن أن هذه الفجوات وحوافها من الرمل المتراكم شبيه «السجق»، هى من صنع ديدان صغيرة رفيعة والتي تحفر تحت السطح طاردة الفضلات من الرمل المحفور إلى خارج الحفرة، ولكننى ما زلت مرتبكا إزاء كيفية تشكيلها تلك الحواف حول الحفر. دع عنك ذلك فالأهم

أننى تشككت - حتى فى هذه السن الصغيرة - حول أن تكون هذه الكائنات الحية الصغيرة هى المسئولة عن ذلك، وثمة نماذج عديدة فى الطبيعة لم تظهر لها أنشطة مثل أنشطة الكائنات الحية. بالطبع فعلى نفس الرمل الذى شاهدت فيه الحفر وحوافها، توجد صفوف مستقيمة من ارتفاعات ناتئة، صنعتها أمواج البحر المترقرة على الرمال فى مجيئها إليه وغدوها عنه، ولكن يظل خط المعجون على فرشاة الأسنان شيئاً مُخترعاً أو نوعاً من إيجاد حيلة للأمر سواء بالنسبة للمعجون أو الفرشاة، بل هما أكثر من ذلك، معقدان للغاية بالنسبة لعمل يصدر عن قوى غير حية وعمياء. فإن تدفق الموج يحطم ويزيل تلك الحواف الصغيرة، كما لم أعتقد أن الأمواج هى التى تنشئها.

واحدة من الطرق الرئيسية التى تميز بها الحياة ذاتها عن بقية الطبيعة، تتمثل فى قابليتها الملحوظة فى أن تمضى «ضد اتجاه المد» (المثال السابق يعد حرفياً فى هذه الحالة) وفى صنع النظام من الفوضى. وفى المقابل تتباين الأشياء غير الحية فى أنها تنتج اللا نظام. وفى الواقع فإن ثمة قانوناً رئيسياً هو الذى يعمل فى هذه الحالة، يسمى القانون الثانى للديناميكا الحرارية. ولفهم كيف بدأت الحياة، فإننا نحتاج فى البداية إلى: كيف تتوافق الحياة مع هوى أو محددات هذا القانون.

### مبدأ الفساد أو التفسخ:

أشرت فى الفصل السابق إلى أن الخلايا الحية تشبه من بعض الجوانب الآلة الصغيرة. كل الآلات تحتاج لكى تعمل إلى وقود. الحيوانات تأكل من أجل الوقود، بينما تعتمد النباتات فى وقودها، بهذا المعنى، إلى قوى الشمس. ومما لا يمكن تجنبه أو الإفلات منه كنتيجة ثانوية لذلك، هو استهلاك هذا الوقود فى شكل حرارة.

وهذا مألوف جدًا بالنسبة لأجسادنا، فالكائنات الحية تظل دافئة، بسبب الحرارة المفقودة أو المبددة من عملية استهلاك الغذاء (الوقود)، والحرارة هذه شكل من أشكال الطاقة ويمكنها أن تقود التغيرات الفيزيائية والكيميائية، وفي القرن التاسع عشر كان العلماء والمهندسون حريصين على فهم العلاقة المتبادلة بين الحرارة والشكل وبعض التفاعلات الكيماوية، مما ساعدهم على تصميم آلات بخارية أكثر كفاءة، ومزايا أخرى. ونتيجة واحدة من هذه البحوث كانت اكتشاف قوانين الديناميكا الحرارية. ومن بينها القانون الثاني، وصلته الوثيقة بطبيعة الحياة.

ومن ناحية الجوهر فإن هذا القانون يمنع إنشاء آلة مثالية بمعنى أن أداءها له صفة الدوام. وهو يقول لنا إن كل العمليات الفيزيائية الكبيرة تقل عن مائة في المائة بالنسبة لكفاءتها. هناك فاقد لا يمكن تجنبه وانحلال أو فساد. ولننظر إلى آلة بخارية على سبيل المثال، فإنها لا تستفيد من كل الطاقة المحررة من الفحم المحترق، كثير من الحرارة الخارجة من الغلاية ينتشر متفرقًا، بلا فائدة في البيئة المحيطة، جزء من طاقة الحركة يتم فقده نتيجة احتكاك الأجزاء المتحركة من الآلة. إن أحسن وسيلة لتحديد سمات هذا الفقد بمصطلحات «النظام» و «اللا نظام» أو الطاقة «النافعة» و «غير النافعة». حركة الآلة البخارية في اتجاهها على الخط المطلوب منها، يعتبر طاقة «نافعة» أو «مفيدة»، بينما الحرارة المفقودة والمتشعبة في الأرجاء هي من قبيل «اللا نظام» والطاقة «غير النافعة». والحرارة كطاقة اللا نظام ترجع إلى الحركة المشتتة أو المنتشرة بلا نظام للجزيئات، إنها غير مفيدة بسبب فوضى توزيعها، والقانون الثاني ذاك يقول بأن هذا الفقد لا يمكن تجنبه ولا يمكن إلغاؤه أو تغيير اتجاهه من «النظام» إلى الشكل «اللا نظامي» للطاقة ومن دون المد بالوقود، أو الطاقة المفيدة لأن الآلة المتحركة سرعان ما تلهث وتزفر الزفرة الأخيرة، ثم التوقف التام.

والقانون الثاني للديناميكا الحرارية ليس مختصًا فقط بالهندسة. إنه قانون تأسيسي في الطبيعة ولا مهرب منه. وقد أكد الفلكي الإنجليزي سير أرثر إدينجتون

Sir Arthur Eddington أنه يحتل المرتبة العليا بين قوانين الطبيعة، حيث كتب<sup>(٢)</sup> في إحدى المرات: «إذا ما كانت نظريتك تتضاد مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية، فلن أستطيع أن أعطيك أى أمل، فلا شيء أمام هذه النظرية سوى النداعى والانهيار فى خزى عميق». ومن السهل أن تعثر فى حياة كل يوم على أمثلة لتطبيقات القانون أثناء عمله، حالات يستسلم فيها «النظام» للفوضى. تحطم وزوال حواف الحفر وآثار أقدامى فى الرمال الذى أشرت إليهما فى صدر هذا الفصل. وفكر فى «رجل الثلج» الذائب أو إلى البيضة بعد تكسيورها. وكل هذه العمليات تنتج عنها حالات من «اللا نظام» للمادة من حالات خاضعة لـ «النظام» نسبياً. كما أن هذه التغيرات لا يتسنى إحداث اتجاه عكسى لها، فلن تشاهد مدًا ينشئ آثار أقدام، أو أشعة شمس تنشئ «رجل ثلج»، وحتى أحصنة الملك ورجاله، لا يستطيعون إيقاف حالة الهرج والمرج السائدة فى المعارك.

هذا وقيس الفيزيائيون الفاقد من الطاقة النافعة بشكل كمى من خلال مصطلح «أنطروبيا»<sup>(\*)</sup> "entropy" الذى، وبطريقة مبسطة، يتطابق مع درجة «الفوضوية» الموجودة فى نظام ما. حينما تحدث عملية فيزيائية مثل حركة المكبس داخل (الأسطوانة) فى آلة بخارية، فمن السهل حساب كم الأنطروبيا الناتج عن العملية، وعندما نكون مسلحين بمفهوم الأنطروبيا.

لماذا هذا التحول من «النظام» إلى «اللا نظام»؟ التوزيع غير المتعادل للحرارة فى البداية يمكن النظر إليه كحالة من نظام متزايد، ما دامت الأنطروبيا المنخفضة تظل أقل من الحالة النهائية لها، فإن الطاقة تتوزع بشكل فوضوى بين أكبر عدد من الجزيئات. وفى هذا المثال فإن القانون الثانى للديناميكا الحرارية يتطلب أن تتدفق الحرارة من الساخن للبارد، ولا يمكن أن تكون فى اتجاه عكسى أى من البارد إلى الساخن.

---

(\*) عبارة عن عامل رياضى لقياس الطاقة غير المستفاد منها من نظام دينامى حرارى مغلق (المترجم).



وعند توظيف أو تطبيق قوانين الديناميكا الحرارية على نظام عضوى حى، فيبدو أن ثمة مشكلة. لأن واحداً من أهم مزايا أو خصائص الحياة هو الدرجة العالية للنظام فيها، ولذا فحين ينمو أو يتطور هذا النظام أو يعاد إنتاجه أو نسخه فإن النظام يزداد. وهذا يتعارض مع القانون الثانى وما يدعيه. ومثال ذلك نمو الجنين، وتشكل جزيئات الدنا، وظهور نوع جديد، والتعاون المتزايد فى المجال العضوى الإحيائى ككل، كل هذه أمثلة على تزايد «النظام». وتناقض الأنطروبيا.

وقد تحير العديد من العلماء المشهورين إزاء هذا التناقض. حتى العالم الفيزيائى الألمانى «هيرمان فون هيلمهولتز» **"Hermann von Helmholtz"** نفسه، وهو أحد مؤسسى علم الديناميكا الحرارية، كان واحداً من بين أوائل من اقترحوا أن الحياة إلى حد ما تطوق أو تحتال على القانون الثانى<sup>(٣)</sup>. وكذلك أدرك إدينجتون أن ثمة تناقضاً بين التطور الداروينى والديناميكا الحرارية، واقترح إما هجر هذا الأخير، أو إنشاء مبدأ لا تطور إلى جواره<sup>(٤)</sup>. وحتى شرودنجر كانت لديه شكوكه. ففى كتابه: «ما هى الحياة؟» قام باختبار وفحص العلاقة بين النظام واللا نظام فى الديناميكا الحرارية المصطلح أو المتفق عليها، مقارنة مع المبدأ الموروث فى الحياة والخاص بمزيد من النظام. حيث لاحظ أن الكائن الحى يتجنب التفسخ أو الانحلال ويبقى على «النظام» من خلال ما عبر عنه بـ «شرب النظام» عبر بيئته. وظن بذلك أن القانون الثانى لا ينطبق على المادة الحية حيث كتب<sup>(٥)</sup>: «يجب أن نكون مستعدين للعثور على طراز جديد من هذا القانون الفيزيائى يتغلب عليه».

وهكذا هل ثمة مشكلة فى القانون الثانى للديناميكا الحرارية عندما يتعلق الأمر بالنظم البيولوجية؟ لا، ليست هناك مشكلة. ليس هناك تناقض بين الحياة وقوانين الديناميكا الحرارية. ولكى ترى أنه لا توجد مشكلة، خذ فى اعتبارك أولاً حالة مبرد متواضع refrigerator المصمم خصيصاً، لكى يزيح الحرارة عن البرودة (داخل المبرد). وإطلاقها إلى ما هو ساخن (حجرة المطبخ نفسها). ولقد

قررت سلفاً أن المتطلب من الحرارة أن تتدفق من الحار للبارد. ولكن هناك شرطاً مهماً. أن القانون الثانى ذلك. وبحالته التى يحدثنا عنها لا ينطبق إلا على النظم المغلقة. والمبرد ليس كذلك. ولكى تجبر الحرارة لأن تتدفق فى الاتجاه العكسى أو الاتجاه الخطأ فعلى المبرد أن يقوم ببعض العمل. وهذا يتطلب بعض الوقود وموتوراً ليقوداه. الموتور يستهلك الطاقة (دون أى انعكاس فى الاتجاه)، وهذا يرفع من معدلات الأنطروبيا فى المطبخ، وعندما تحسب الكميات سوف تجد، وبشكل مؤكد كفاية، أن معدل الأنطروبيا داخل المبرد يقل، بينما يرتفع معدلها فى المطبخ وحتى بدرجة أكبر من معدل انخفاضه (موتور المبرد تزداد درجة حرارته سخونة أثناء عمله). هذا وما نجنيه من الأشياء المتأرجحة يكون أكثر مما نجنيه من الطرق غير المباشرة. وهكذا من حيث التوازن، فإن مبرداً عاملاً (فى حالة شغل) يرفع معدل الأنطروبيا فى الكون بدرجة قليلة جداً لا تكاد تذكر. ويصدق هذا على جميع العمليات بما فيها الحياة ذاتها، فيما يبدو أنه إنشاء للنظام من داخل الفوضى Chaos. إنها يمكن أن تصنع «النظام» فى موضع ما، ولكنها سوف تصنع «اللا نظام» فى مواضع أخرى كثر من له.

وليس من الصعب تعقب أين يظهر اللا نظام فى النظم البيولوجية. انظر إلى أنه لى ينمو كائن حى، فهو يحتاج إلى طاقة أو وقود، والطعام يحتوى على طاقة نافعة، والتى يتشظى بعض منها لحرارة «فاقد» أو «فاسد» خلال عملية التنفس، إنها الحرارة التى نحفظها فى حالة دفء، وإلى هذا الحد فهى نافعة أيضاً، ولكن ما لا يمكن اجتنابه أن بعضاً منها يتدفق بعيداً فى الهواء المحيط بنا، وهو ما يعتبر «فاقدًا». وهكذا فإن «حرق» الغذاء داخل أجسادنا يولد معدلات أنطروبيا أكثر من كافية لدفع مقابل النظام الإضافى المتمثل فى إنتاج خلايا جديدة. والقصة مع النبات مشابهة تماماً. النباتات تنمو باصطياد الطاقة الشمسية، ولكن تحويل الضوء من الشمس الساخنة للأرض الباردة يؤدى إلى تزايد فى معدل الأنطروبيا بأكثر مما هو مقابل لزيادة النظام عبر إنتاج الخلايا الجديدة.

القانون الثانى عند تطبيقه على التطور الإحيائى عند ظهور أنواع جديدة فهذا يعنى مزيداً من «النظام»، ولكن نظرية دارون عرفت الثمن المدفوع لتحقيق ذلك. إن ظهور أنواع جديدة يتطلب العديد من التغيرات بحيث يتسنى لنا وضع القانون الثانى كما يلى: الأنطروبيا الكلية فى نظام مغلق لا تتناقص، أو لا تزيد بشكل لا محدود. سوف تكون هناك حالة للأنطروبيا تصل فيها إلى حدها الأقصى والتى ويبلغ عندها «اللا نظام» أقصاه، وهى التى يشار إليها بـ «الاتزان» الديناميكى الحرارى» وبمجرد أن يصل إليها هذا النظام فإنه يظل متقيداً بها، لا يتجاوزها.

ولكى تتضح هذه المبادئ أكثر، دعنى أضفى عليها مزيداً من الضوء، من خلال مثال بسيط يتعلق باتجاه تدفق الحرارة. إذا ما وضع جسم ساخن فى تماس مع جسم بارد، فإن الحرارة تنتقل من الساخن إلى البارد. وأخيراً يصل كلاهما إلى ما يعرف بالاتزان الديناميكى الحرارى. ولتطوير أى أنواع أخرى يتطلب الأمر تحولات أو تغيرات عديدة، أغلبها أو القدر الأكبر منها ضار، وتتعرض للإقصاء عبر «منخل» الاختيار الطبيعى. لأن أى بقاء ناجح لمتغير ما، يكون على حساب آلاف من حالات الموت. والأشلاء الناجمة عن هذه المجزرة الطبيعية (الاختيار)، تقدر بزيادة ضخمة فى الأنطروبيا، والتى لا يمكن تعويضها بما جنيته من «التغير» أو «التحول الناجح»<sup>(٦)</sup>.

خلاصة القول: إن النظام الإحيائى يذعن بالكامل للقانون الثانى للديناميكا الحرارية وما دامت تستطيع البيئة أن تمدنا بطاقة نافعة، فإن النظام العضوى سيستمر، بسعادة، فى إنقاص معدلات الأنطروبيا وزيادة النظام فى جواره المحلى. لكنه فى الوقت نفسه يساهم فى التزايد الوحشى، للأنطروبيا فى الكون ككل. هذا الثبات بما يشبه الخط المستقيم لمشكلة الديناميكا الحرارية مع الحياة، سبق أن عرّفه منذ زمن طويل واحد آخر من مؤسسى نظرية الديناميكا الحرارية، هو الفيزيائى النمساوى لودفيج بولتزمان Ludwig Boltzmann<sup>(٧)</sup>: «وهكذا فإن الصراع العام من

أجل الحياة ليس معركة من أجل المادة الأساسية... ولا من أجل الطاقة... إنما من أجل أن يصبح إنتاج الأنطروبيا ممكناً من خلال تحول الشمس الساخنة إلى الأرض الباردة».

ومع ذلك يجب أن نأخذ حذرنا هنا من أن نسقط في شرك. لأن الحياة، وهي لصيقة بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية، لا يعنى أن هذا القانون الثانى يشرح الحياة، هو بالتأكيد لا يفعل ذلك وللأسف فإن كثيراً من العلماء استسلموا لهذه المخادعة. وما زال علينا أن نتمثل كيف أن التغيير فى معدلات الأنطروبيا مع البيئة يجلب هذا النوع المعين من النظام المائل من النظام العضوى الحيوى. وليس مجرد تخصيص مصدر للطاقة النافعة، سيشرح لنا بذاته كيف تتم عمليات «النظام» هذه. ولكى نفعل ذلك، يحتاج المرء لتعريف الآلية الفعلية التى ستضاعف المخزون القديم للطاقة المتاحة لتتناسب مع العمليات البيولوجية. هذا الجزء من القصة، يشبه القول بأن وظيفة المبرد قد تم شرحها بمجرد عثورنا على مقبس (بريزة).

ولأنها تتطابق مع حالة التوازن، فإن أقصى معدل للأنطروبيا يكون مستقرًا. وعلى سبيل الحديث، فإن حالة عدم الاتزان الحرارى تكون غير مستقرة، والعمليات الطبيعية ترغب فى أن تدفع معدل الأنطروبيا إلى أقصاه. ومع ذلك فإن الواقع تكون فيه عدة حواجز تمنع القانون الثانى من أن يمضى فى طريقه، وعلى سبيل المثال فإن بخار البترول مع الهواء لا يمثلان خليطاً لحالة أقصى أنطروبيا. سيرغب كل غاز منهما فى أن يتفاعل لتشكل عنصر أكثر ثباتاً، وأن يحرر الحرارة، وبالتالي يزيد من الأنطروبيا. وفى ظل الشروط العادية، فإن هذا التفاعل يكون مخادعاً لأن الحاجز الكيميائى يمنع من حدوثها بطريقة عفوية، الأمر يحتاج لومضة لقدح زنناد التفاعل أو رد الفعل. الحالات التى تمثل استقراراً هشاً من هذا النوع يصطلح على تسميتها «شبه استقرار» "metastable" أو قل «ماوراء الاستقرار». وخليط بخار البترول والهواء هو واحد من أمثلة «ماوراء الاستقرار»، ومثال آخر: قلم يقف على نهايته المسطحة. إنه يحتاج إلى جهد ولو



قليلاً، لجعله متداعياً للسقوط. وذلك بالمقارنة مع قلم يقوم على سنه المدبب، والذي يكون في هذه الحالة غير مستقر بالكامل.

مفهوم «ما وراء الاستقرار» يمثل بالكلية وضعاً محرّجاً لنجاح عملية الحياة. لأن الكائنات الحية تحصل على الطاقة النافعة من ردود الفعل الكيميائية، ولكنها لا تستطيع أن تفعل ذلك إذا ما كانت العمليات غير العضوية - قد طوّقت مجال العملية وبددت الطاقة في البداية أى قبل حصولها هي عليها. وهكذا فإن الحياة دائماً تسعى لمصادرة «ما وراء الاستقرار» للطاقة النافعة لكي تستغلها في أن تظهر نفسها. الحيوانات تستببط طاقتها بحرق مواد عضوية، مستفيدة من نفس حالة «ما وراء الاستقرار» الأساسية، مثل خليط غاز البترول - الهواء. وكما سنرى أن بعض الميكروبات تقتلع الطاقة بسعيها وراء طرق كيميائية قد لا يصل إليها تفكير الكيميائيين.

ولكشف السرّ عن مصادر ما وراء الاستقرار فإن على الكائنات العضوية أن تجتاز الحواجز النشطة التي تحول دون تحرير اللا عضويات للطاقة. وهي تفعل ذلك من خلال استراتيجيات ماهرة مثل استخدام الإنزيمات *enzymes*، التي تحفز ردود الفعل وإلا لَجَرَتْ في بطءٍ بالغ. وحيلة أخرى تتمثل في أنها توظف جزيئات تقوم بدور الشاحن لتكون معادلة للشرارة التي تجعل البترول يشتعل. ولأن ردود الفعل الكيميائية تجري بمستويات مختلفة في ظل الظروف المختلفة، فإن الكائنات الحية تستطيع التحكم في تحرير الطاقة بإعطاء دفعات قليلة منها عند الاحتياج إليها وفي وقتها تماماً. وهذه الحقيقة هي التي تجعل من الكيمياء أساساً مثالياً للبيولوجيا، ولكن من حيث المبدأ، فإن الحياة تستطيع توظيف استخدام أى مصدر للطاقة، له صفة «ما وراء الاستقرار». وكتاب الخيال العلمي فحصوا الحياة القائمة على بلازما متأينة *ionized plasma* أو على عمليات ذرية. ففى حين أن ذلك ممكن نظرياً، فإن التنوع المحض وتعدد جوانب ردود الفعل أو التفاعلات الكيميائية يجب أن تجعل الحياة كيميائية الطابع كأفضل فرصة رهان.

## من أين تجيء المعرفة البيولوجية؟

معارك الحرب الحديثة تعتمد بشدة على المعلومات الموثوقة. التي طالما لعبت دوراً حاسماً في قيادة الجيوش والسيطرة على المعارك عبر خطوط الهاتف ووصلات الراديو. ومع ذلك فإن قناتى الاتصال هاتين يعدان موضوعاً لتداخل الإشارات، كما يعرف كل من يحاول نقل تعليمات على تليفون محمول خارج نطاق الخدمة، وخلال الحرب العالمية الثانية عمدت الولايات المتحدة الأمريكية إلى إجراء دراسة من خلال القوات المسلحة حول مبادئ الاتصالات، قادها الباحث «كلود شانون» "Claude Shannon"، الذي كان يعمل في معامل تليفون بل "Bell Telephone Laboratories". وقد نشرت نتائج تحليلاته عام ١٩٤٩ تحت عنوان: «النظرية الرياضية للاتصالات» **The Mathematical Theory of Communication**، وسرعان ما أصبح الكتاب من ضمن الكلاسيكيات<sup>(٨)</sup>.

نظرية شانون تمحورت على الصلة المباشرة بين المعلومات والأنطروبيا. تخيل حديثك مع صديق لك عبر هاتف «يهسهس»، أو كما نقول به «وش» لسنا بحاجة للقول بأن الضوضاء في خلفية المحادثة لن يضيف أبداً أى شيء للمحادثة. ولكن كانت بصيرة شانون الكبرى في تركيز الضوء على أن هذه الضوضاء هي شكل من أشكال «اللا نظام» أو «الأنطروبيا». وبالمقارنة: فإن إشارة تمثل النظام: قارن النقاط المعدة بعناية والخطوط الصغيرة في الكتابة (الشرطة -) في شفرة مورس Morse وبين قطعة صادرة عن راديو مثبت في موضعه. وتعامل المعلومات في نظرية شانون كمضاد أو عكس الأنطروبيا لأن المعلومات أحياناً ما تشير إلى أنطروبيا سالبة. عندما تُفقد المعلومات في قناة اتصال مفعمة بالتشويش، تنهض الأنطروبيا. وهنا يصبح الأمر كمثال للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي على هذا النحو تتسم بصفة «كُلِّيَّ الوجود».

وهكذا فإن تفسخ أو انحلال الإشارة يمكن النظر إليه بطريقتين متكافئتين: كما لو أن الضوضاء قد غزت القناة أو أن المعلومات قد تسربت منها. هذا التشويه أو الانحراف الجديد للأنطروبيا يمكن أن ينطبق تمامًا على النظم الفيزيائية. القانون الثانى يمكن أن نفكر فيه إما إنه زيادة أو انتشار للأنطروبيا، وإما انحراف معلومات غير مُرض فى النظام.

كانت لأفكار شانون تطبيقات واضحة على النظم العضوية الإحيائية، لأن المعلومات هى واحدة من مزاياها المُعرّفة. فالدنا تختزن المعلومات اللازمة لإنشاء الكائن العضوى وجعله يعمل. وثمة وجه واحد لغموض «النظام» البيولوجى يمكن أن يُعبّر عنه من خلال هذا السؤال: من أين تأتى المعلومات البيولوجية؟ نظرية الاتصالات - أو نظرية المعلومات كما تُعرف بهذا الاسم حاليًا - تقول بأن الضوضاء تدمر المعلومات، وإن تلك هى العملية العكسية، إنشاء معلومات من الضوضاء، والتي قد تبدو لنا كمعجزة. ظهور رسالة هكذا من نفسها من خلال راديو ساكن أو خامد سوف تكون أمرًا مفاجئًا مثل أن يصنع المد آثار أقدام على الشاطئ الرملى، لقد عدنا إلى الوراء لنفس المعضلة القديمة: القانون الثانى للديناميكا الحرارية يصر على أن المعلومات لا تزدهر من خلال كونها عفوية أو تلقائية بأكثر مما تستطيع الحرارة أن تتدفق من البارد إلى الساخن.

حل هذه المشكلة يمكن أن يكون مرة ثانية موجودًا فى حقيقة أن الكائن العضوى ليس نظامًا مغلقًا ومحتوى معلومات خلية حية، يمكن أن تزدهر إذا ما تساقطت المعلومات المحيطة بها فى الجوار. وطريقة أخرى للتعبير عن ذلك وهى أن المعلومات تتدفق من البيئة إلى الكائن العضوى. وهذا هو بالضرورة ما عناه شروودنجر عندما قال إن الكائن العضوى يستمر فى الحياة بشرب «النظام». إن الحياة تتجنب التفسخ والانحلال من خلال القانون الثانى للديناميكا الحرارية عبر استيراد المعلومات أو الأنطروبيا السالبة من الأجواء المحيطة. وبذلك يكون مصدر معلومات الكائن العضوى هو البيئة المحيطة به.

كل من «الأيض» و«إعادة النسخ» مستبطنان من تدفق المعلومات من البيئة المحيطة إلى الكائن العضوى لأن الغذاء يحتوى على طاقة منظمة أو نافعة، وثناء فى المعلومات، فكر فى تعقيد الجزىء العضوى كنقرات صغيرة من شفرة مورس. حرارة الجسم هى طاقة فاقدة أو مُبددة - معلومات فقيرة - مثل خط تليفون به «وش» أو «هسيس». هكذا يدفع القانون الثانى الرسوم المفروضة عليه، ولكن مع ذلك ينمو الكائن العضوى بتركيز المعلومات مع نفسه وتصدير الأنطروبيا. وفى حالة إعادة الإنتاج، فإن محتوى معلومات الدنا تتغير بطريقة أكثر بطناً عبر عديد من الأجيال كنتيجة للتغيرات الإحيائية العشوائية والتحوللات أو التغيرات الإحيائية التى هى المعادل العضوى للضوضاء فى خط تليفونى والإشارة هى الدنا المصكوكة حديثاً. والتحوللات الناجحة هى تلك التى تتكيف بشكل أكثر كفاءة مع بيئتها، ولذلك تقوم البيئة بإمدادنا بالمعلومات وبطريقة أكثر دقة تختار المعلومات التى تنتهى داخل الدنا. وهكذا تقوم البيئة بتغذية الرسالة الجينية (الوراثية) بالمعلومات عبر الاختيار الطبيعى<sup>(٩)</sup>.

النظر إلى الصراع من أجل الوجود بمصطلحات المد والجزر فى المعلومات يطرح علينا سؤالاً غريباً: هل التحولات الإحيائية من قبيل الأخبار الجيدة أو الأخبار السيئة؟ إذا كان النسخ الوراثى مخلصاً تماماً، فإن الحياة لن يتسنى لها أبداً التكيف مع الظروف المتغيرة، وبالتالي سيكون الانقراض هو القضاء المحتوم الذى لا يمكن تجنبه. ومن الناحية الأخرى، فإن الكثير من أخطاء إعادة النسخ ستتكرر لدرجة أن الرسالة الوراثية ستشعب، وفى النهاية تضع. ولكى ينجح الأمر، فإن الأنواع تحتاج إلى أن تحفظ التوازن بين تحوللات إحيائية عديدة وأخرى قليلة.

يمكننا أن نرى هذه «التوفيقية» وهى ماثلة خلال حيواتنا نحن. عندما كنت فى سن السابعة توفيت خالتى الكبرى بداء السل "tuberculosis=TB"، وكانت أول مرة أسمع ما كنا نخافه من الهزال التدريجى أو السل، وبالطبع كانت الأخيرة على



الأقل لفترة طويلة من الزمن وحتى في بواكير خمسينيات القرن الماضي، كان الموت من هذا الداء العتيق قد أصبح نادرًا في بريطانيا، وصار ينخفض بسرعة في معدلاته عبر العقود التالية حتى أصبح جديرًا بالتغاضي عنه. واكتشاف الإستربتوميسين، كمضاد حيوى عام ١٩٤٣ والاستخدام اللاحق للقاح BCG استطاعا معًا أن يستبعدا السل كموضوع محل اهتمام صحى - حتى الآن. وفجأة عاد السل إلى الأنباء كآخر شكل لمقاومة العقاقير متزامنًا مع سلالة جديدة من «السالمونيلا» *Salmonella* و«الجونورهوا» *gonorrhoea* (مرض مُعدٍ ينتقل جنسيًا - السيلان) و«بنيميومونيا» *Pneumonia* و(التهاب جرثومى أو مناعى أو كيميائى حاد أو مزمن يصيب الرئتين)، وأصبح السل - معها - يهدد بأن يكون مصدرًا خطرًا على الصحة مرة أخرى. ما الذى يحدث؟

جزء من الإجابة يكمن فى الطريقة التى تستطيع بها البكتيريا أن تتحول. هذا متضافر مع قابليتها للتكاثر بأقصى سرعة، يضمن تقريبًا أن تظل تبرع مناوراتها إزاء أى دواء أو لقاح تدهمهم به علوم الطب والأدوية. وبالرغم من السرعة التى يسير عليها البحث العلمى للعثور على مضاد حيوى جديد، فإن التغير الإحيائى الجرثومى يقفز خطوة أسبق.

هذا ويمثل الصراع بين الأطباء والبكتيريا نموذجًا للتطور الداروينى فى حالة العمل. ورغم أن حالة الأمراض الناجمة عن التلوث معقدة عبر عدة عوامل طبية، فربما يمكن اكتشاف مبدأ بسيط يتحدد تحت الخطوط المعروفة لعملية إعادة النسخ. وكما شرحت سلفًا أن أخطاء المعلومات أثناء النقل تشبه حالة الضوضاء أو الأنطروبيا فى قناة اتصال. الضوضاء تتسبب فى تسرب المعلومات وهى هنا تعنى المعلومات الوراثية. هذا التحلل فى الرسالة الوراثية يقابله الاختيار الطبيعى، الذى يخدم كمصدر للمعلومات. إذا لم تستطع البيئة أن تمد أو تضع مرة ثانية فى الجينوم *genome*، عبر الاختيار الطبيعى، قدرًا من المعلومات مساويًا للمعلومات المتسربة، فإن الأخطاء سوف تتراكم فى النهاية لدرجة تختلط فيها عملية إعادة النسخ نفسها،

وتتوقف إعادة الإنتاج. هذه الحالة المأساوية التي هي مثال آخر لعمل القانون الثاني من الديناميكا الحرارية، أطلقوا عليها مصطلح «الخطأ المأساوي» "the error catastrophe" وكان الذي صاغ التعبير هو البيوكيميائي الألماني «مانفرد إيجن» "Manfred Eigen".

هذا ويمكن تكميم (من كم) الأخطاء المأساوية عبر السؤال، كم عدد البتات bits من المعلومات في الكائن العضوي؟ وكم منها يمكن أن يتسرب قبل أن تخضع هذه الذرية بذاتها أو المعينة في الاستسلام للموت؟. وقد أعلن إيجن أنه كلما كبر عدد الجينات التي يمتلكها الكائن العضوي، صغر معدل الأخطاء. بحيث يتجنب «الخطأ المأساوي»، وذلك في مقطع صغير من الأمر. وفي كلمات أخرى فإن النسخ غير المتقن يقتل النظام العضوي المعقد. والكائن العضوي ذو الرتبة العالية لديه حوالي 100,000 جين<sup>(١٠)</sup>. قدرة على تخزين مائة مليون «بتة» معلومات أى منها يمكن أن يكون موضع خطأ، وفي تقدير موقف مبدئي إذا كان مستوى الخطأ هو واحد في المائة مليون، فإن «الخطأ المأساوي» يمكن تجنبه. وبالمقارنة مع الباكثيريا التي لديها عدد أقل كثيراً من الجينات، فإنها يمكن أن تتعرض للخطأ بنسبة أكبر. ويبدو أن الطبيعة لديها علم بقاعدة إيجن هذه، لأن الخلايا لدينا كبشر عملت على أن تتخفض بمستوى الأخطاء إلى واحد في كل بليون، بينما بالنسبة للباكثيريا فإن المستوى أعلى بكثير - حوالي واحد في كل مليون. ومن هنا تأتي مشاكل التحولات المقاومة للأدوية واللقاحات. وبالنسبة للفيروس، والذي لديه عدد أقل من الجينات فإن مستوى نسبة التحول الإحيائي يبقى أعلى بكثير. والدرجة القصوى لمستوى نسبة الخطأ بالنسبة للجنس البشري تكون عادة دون مستوى «الخطأ المأساوي»، وهو ما يمثل حالة توفيقية بين الثبات أو الاستقرار والمرونة.

و«الخطأ المأساوي» يمثل حالة حرجية ومهمة بالنسبة لمشكلة النشوء الإحيائي من حياة أسبق. بالنسبة للنظم العضوية الحديثة، ثمة آلية لتصحيح مميز للطبعة وإصلاح للخطأ، يتم توظيفها لحفظ المستوى المنخفض للأخطاء. حيث

تستطيع الخلايا أن تكتسى برداء من الإنزيمات، ظهر عبر بلايين السنين، لتنقية عملية إعادة النسخ. ولم تكن مثل هذه الإنزيمات متاحة للنظم العضوية الأولى. ولذا كانت عملية إعادة النسخ لديهم عرضة بشدة للخطأ. وطبقاً لقاعدة إيجن، فإن هذا يعنى أن الخريطة الجينية لدى هؤلاء الأوائل (أو قبل إعادة النسخ قبل العضوى) كانت قصيرة جداً إذ كان لهم أن يتجنبوا «الخطأ المأساوى» ولكننا هنا نقع فى تناقض. إذا كانت الخريطة الجينية بالغة القصر، فكيف تستطيع أن تقوم بتخزين معلومات كافية لبناء آلية النسخ نفسها. إيجن اعتقد أنه حتى أبسط أجهزة أو أدوات إعادة النسخ تتطلب معلومات أكثر وفرة، والتي لم يسبق تراكمها أبداً فى سلسلة متعاقبة من الحامض النووى (مادة تستخرج من نوى الخلايا) "nucleic acid"<sup>(١١)</sup>. وللوصول إلى مقدار الطول الذى تحتاجه الشفرة الضرورية للإنزيمات الطابعة، فإن الخريطة الجينية ستخاطر بالوقوع بغباء فى مشكلة «الخطأ المأساوى» الذى تحاول مقارنته والتغلب عليه. ولوضع المسألة فى شكل بسيط: الخرائط الجينية تتطلب نسخاً يعتمد عليه، والنسخ الموثوق به يتطلب خرائط جينية معقدة. وعليه أيهما يأتى أولاً؟ وهذه مثل مشكلة «البيضة» و«الدجاجة» كنموذج لمتناقضة النشوء الإحيائى كما سنرى فى الفصل الخامس.

حتى الآن كنت، إلى حد ما، مختلاً فى استعمال مصطلح «المعلومات». ولكن علماء الكمبيوتر وضعوا تفرقة بين تراكيب الجمل وبنائها وإعرابها syntax ودلالات الألفاظ وتطورها semantics، فالأولى هى محض معلومات ربما تم ترتيبها طبقاً لقواعد النحو، بينما الأخيرة معلومات لها نوع من المعنى أو السياق. والمعلومات بذاتها أو من ناحية جوهرها ليس عليها أن تعنى شيئاً: قطع الثلج المتساقطة تحوى معنى تركيبياً بالنسبة لخصوصية تركيبها كداسية الشكل أو الأضلاع ولكن هذا النموذج لا يحوى أى دلالات، أى لا معنى لأى شئ بخلاف بنائه هو. وبالمقارنة مع الملمح المميز للمعلومات البيولوجية من أنه مفعم بالمعنى. الدنا تقوم بتخزين المعلومات المتطلبة لبناء كائن بشرى وظيفى، إنها «الطبعة الزرقاء» (الطبعة المبدئية

أو البروفة النهائية) أو الحبر الخاص بكائن متخصص ومنتج محتوم أو مقدر "predetermined"، بينما قطع الثلج المتساقطة ليست شفرة ولا تحتاج لشفرة، كما أنها لا ترمز لأي شيء على الإطلاق، بينما الجينات تفعل ذلك بشكل واضح لا لبس فيه. ولكي تشرح الحياة بشكل كامل، فليس يكفي أن تعرف ببساطة مصدرًا للطاقة الحرة، أو معدلًا للأنطروبيا السالبة، للإمداد بالمعلومات البيولوجية. إنما علينا أيضًا أن نفهم، كيف تأتي المعلومات الدلالية ذات المعنى للوجود. إنها جودة المعلومات وليس مجرد وجودها. وهذا هو السر الحقيقي. كل هذه الأشياء عن الصراع مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية هو تقريبًا أمر قليل الشأن، كأسماك السردين الحمراء قليلة الحجم لدرجة أنها جديرة بالالتفات عنها.

مصدر المعلومات الدلالية يمكن أن يكون - فقط - متمثلًا في بيئة الكائن العضوى، ولكن هذا يستدعى السؤال: كيف جاءت المعلومات للبيئة في المقام الأول؟، إنها - فقط - لم تكن منتظرة كشرائح أو صفحات من الطبعة المبدئية blueprint قبل الوجود للطبيعة كي تحاكيها. الطبيعة ليست مُصمَّمًا عبقرًا. وعليه، فما الذى تعرفه عن محتوى معلومات البيئة نفسها؟ بالطبع المقصود بالبيئة هنا هو موطن الكائن العضوى؟ هل المحيط الأرضى؟ هل النظام الشمسى؟ فى النهاية البيئة هى الكون كله. تتبع سلسلة التسبيب أو العلية، وستجد أن السؤال متعلق بالكونية. وهكذا نكون مواجهين بالسؤال المطلق: من أين جاء محتوى معلومات الكون؟

#### الفجوة الأنطروبية: الجاذبية كمنبع رئيسى للنظام:

سبق لدارون أن انتقد بشدة هؤلاء الذين تدارسوا وتفكروا حول أصل الحياة، كرد عكسى على التفكير فى أصل المادة. واليوم يعتقد الفيزيائيون والكونيون أنهم قد عرفوا أصل المادة، وأن هذا الأصل يكشف عن أنه قابل للمقارنة مع عملية



الإحياء العضوى. أو أن الكون المرئى يشتمل على  $10^{60}$  من أطنان المادة، أما مشكلة من أين أتت فكانت أشبه بالعبء أو الوباء الذى أصاب الكونيات لعدد من السنين. وكان الناقدون الأوائل للانفجار الكبير لا يوافقون على افتراض أن كل هذه المادة اندفعت للوجود فى بداية الزمن من دون أى سبب ظاهر. وكانت فكرة أن الكون تجذر من مادة، سبق أن وجدت بالفعل منذ البداية، كانت هذه الفكرة كالصدمة بالنسبة للكثيرين فاعتبروها غير علمية بالمرّة.

وكان ثمة طريق آخر فى متناول اليد. حيث اكتشف الفيزيائيون منذ فترة أن عناصر المادة يمكن إنشاؤها إذا ما تركزت الطاقة بدرجة كافية، وهى عملية قابلة لأن تتم فى المعمل عن طريق ماكينات تسريع كبيرة. ولسوء الحظ لم تستطع هذه الفكرة أن تحل مشكلة الكونيين، لأنها تستدعى ببساطة سؤالاً حرجاً: من أين أتت هذه الطاقة المتطلبة للعملية فى المقام الأول؟ الافتراض بأن الطاقة فى الكون قد جاءت أو أعطيت.. فقط هكذا كما لو كانت مجرد موجودة هناك فى الخارج، كان من الصعب اعتباره نوعاً من التقديم أو التقويم لفكرة أن المادة كانت هناك بدورها «فى الخارج». وفى كل هذه الاعتبارات تظل هناك شاردة عن «المعجزة» عن شىء يصدر عن اللا شىء فى نظرية الانفجار الكبير.

ولكن فى ثمانينيات القرن الماضى تم حل مسألة مصدر الطاقة فى الكون، حيث أكتشفت المقولة بأن كل الطاقة فى الكون ربما تكون بالفعل عند درجة الصفر، وبالتالي تكون حالة من حالات «شىء من لا شىء». ويرجع السبب فى أن الكون يظل يحتوى على  $10^{60}$  أطنان من المادة. ومع ذلك تبقى الطاقة فى درجة الصفر - يرجع إلى أن طاقة مجال الجاذبية طاقة سلبية - تعبير غريب ومميز فى آن معاً ويتصل بما سأقوله فيما بعد، والجمع بينهما يدل على أن كلا الاثنين يمكن أن يتلاغيان، تاركين قيمة «الصفر». وثمة آلية مقنعة وُجد أنها تشرح كيف أن الطاقة الإيجابية تظل محتبسة فى المادة، بينما تذهب كمية مماثلة لها من الطاقة السلبية إلى حقل الجاذبية وكنتيجة ذلك، فإن كل المادة الكونية قد أنشئت بالفعل من

دون مقابل ! وبمجرد أن ميز الكونيون ذلك، فقد أصبح قابلاً للتصديق افتراض أن الكون كله بدأ في فراغ تام، وظهرت كل المادة بعد ذلك (ولكن بسرعة شديدة) كنتيجة لعمليات فيزيائية طبيعية. وحظيت هذه النظرية بقدر من الرفعة وبتقدير أنها أكثر علمية، لأنها استبعدت الحاجة لافتراض بأن ثمة قوة تفوق الطبيعة قد ساهمت في إيجاد المادة عند بداية الزمن.

والآن إذا عدنا لمشكلة الإحياء العضوى، سنجد أننا مواجهون بمشكلة وجدانية عكسية. لأننا سنكون بحاجة لأن نشرح، ليس أصل كل هذه الأشياء المادية، ولكن أصل المعلومات إذ إن السعى وراء العمليات الفيزيائية المولدة للمادة يبدو علمًا جيّدًا، أنه يبدو من غير العلمى بالمرّة التعلّق بأمل أن عملية ما هى التى ستولد المعلومات. فالمعلومات ليست، من بين ما يفترض أنها هكذا تأتي من دون مقابل (مثل مادة الكون) أنك يجب أن تعمل من أجلها. وهذا بالفعل هو القانون الثانى للديناميكا الحرارية الذى نعود إليه للمرة الثانية. هذا لأن الظهور التلقائى للمعلومات فى الكون ربما يكون مكافئاً للنقص فى درجة الأنطروبيا فى الكون - بالتناقض مع القانون الثانى: معجزة.. والآن لم يعد محلاً للإنكار أن الكون يحتوى على معلومات (لأنه ليس فى حالة اتزان حرارى). وإذا المعلومات لم يتسنى إنشاؤها، فلا بد أنها كانت موجودة هناك منذ البداية، كأن تكون جزءاً من المرحلة التمهيدية على سبيل المثال. والنتيجة التى يسوقنا إليها هذا هو أن الكون تواجد منذ البداية وهو مكس بالمعلومات، أو الأنطروبيا السالبة.

ما ملاحظات الفلكيين حول المحتوى المعلوماتى للكون الباكر؟ هنا سنقع على اكتشاف عجيب هو وجود خلفية للكون من الإشعاع الحرارى، إنه أحد الأدلة التى تُكرّسها على قبول نظرية الانفجار الكبير، وفيما يبدو أنه توهج تخلف عن المولد النارى للكون. هذه الأشعة سافرت عبر الكون دون أى بعثرة أو تعويقات بعد زمن قليل منذ الانفجار الكبير. ولذلك فإن هذا يعطينا نوعاً من اللقطات الخاطفة عما كان عليه الكون قرب بدايته. وقياسات الأقمار الصناعية حددت أن

مشهد أو طيف الإشعاع الحرارى الكونى يتطابق بالضبط مع حالة «الاتزان الحرارى». ولكن حالة الاتزان هذه تمثل أقصى درجات الأنطروبيا، والتي طبقاً لما أوضحته علاقة شانون، فهي تتضمن الحد الأدنى من المعلومات وفى الواقع فهي كافية لإعطاء معلومة واحدة (درجة الحرارة) تصف بالكامل حالة الاتزان الحرارى، وهكذا فإذا كانت خلفية الكون من الإشعاع الحرارى، لها أن تكون أى شيء فليس سوى أن الكون بدأ من دون أى محتوى معلوماتي تقريباً.

ويبدو أنه تواجهنا حالة تناقض تثير الارتباك: القانون الثانى يمنع زيادة مجموع المحتوى المعلوماتى للكون وقت ظهوره، فإن تسنى لنا أن نقول بأن الكون الباكر قد احتوى على قدر ضئيل من المعلومات. فعلياً أن نسأل: ومن أين جاءت المعلومات الماثلة أمامنا فى الكون الآن؟ وثمة طريقة أخرى للتعبير عن المشكلة بواسطة مصطلحات الأنطروبيا. إذا كان الكون حين بدايته كان قريباً من حالة التوازن الحرارى. حيث الحالة القصوى للأنطروبيا، كيف تسنى أن يصل (الكون) لحالته الحالية من عدم الاتزان، ونحن نعلم أن القانون الثانى يمنع من هبوط أو التدنى فى درجة الأنطروبيا.

والإجابة عن هذا اللغز أو تلك الأحجية أصبحت معروفة اليوم: إنها تكمن فى الدراسة المتأنية والجيدة لظاهرة الجاذبية. ولكى ترى التغيير الذى تحدثه الجاذبية فى الديناميكا الحرارية، فكرياً فى قارورة مملوءة بالغاز، فى هيئة حرارية معينة، فإذا أنت تركت الغاز مستقراً دون اضطراب فهو لن يفعل شيئاً، إذ سيبقى فى حالة توازن. ولكن افترض أن كمية الغاز كانت كبيرة كسحابة غازية فيما بين الكواكب، هنا ستكون للجاذبية أهمية كبيرة، فلن يكون صحيحاً أن شيئاً لن يحدث، لأن النظام حالياً قد اضطرب، وسوف يبدأ الغاز فى التكتف، مراكماً مواد أكثر كثافة هنا وهناك. وفى وسط هذه التجمعات أو مراكزها سيتسبب التضغط فى ارتفاع حرارة الغاز وسوف يتسبب تدرج درجات الميل فى الحرارة فى تدفق الحرارة، وتتشكل النجوم داخل سحابة كونية حقيقية عبر هذا التصور. وتدفق

الإشعاع الحرارى من مثل هذا النجم - الشمسى مثلاً - سيكون مصدرًا (من دون مقابل) للطاقة أو الأنطروبيا السالبة، وهو ما يسير كل أشكال الحياة على سطح الأرض عبر التمثيل الضوئى *photosynthesis*، وهكذا فى ظل تأثير الجاذبية فإن الغاز المفترض أنه حالة توازن حرارة، وفى درجة حرارة متماثلة أو منتظمة وحد أقصى من الأنطروبيا، وبصرف النظر عن حدوث أى تغييرات أخرى، فإن الجاذبية ستجعل الحرارة تتفق وتسبب ارتفاعًا متزايدًا فى درجة الأنطروبيا. هذا الإغواء الجاذبى لعدم الاستقرار هو مصدر المعلومات.

وفى النهاية فإن الجاذبية تغير من قواعد اللعبة بطريقة واضحة وبارزة. لأنه فى نظام تكون فيه الجاذبية محسوسة، فإنه يكفى أن يكون هذا النظام له حرارة مستقرة ومنتظمة وكثافة مستقرة ومنتظمة، كى نقول إنه فى حالة اتزان ديناميكى حرارى، أو حالة حد أقصى من الأنطروبيا. نعم تخذعنا المظاهر - ذلك أن سحابة غازية يظل لديها الكثير من الطاقة الحرة لتنفثها عبر عمليات الجاذبية. حتى فى حالة الحرارة المستقرة فإن الغاز يظل فى حالة انخفاض فى الأنطروبيا. وعندما يتعلق الأمر بالكون فإن الجاذبية هى القوة المسيطرة، وعليه فلا يمكننا تجاهل تأثيراتها الديناميكية، ومن ثم لا نستطيع أن نستببط من وجود خلفية منتظمة من الإشعاع الحرارى أن الكون الباكر كان فى واقع الأمر فى حالة توازن ديناميكى.

تمامًا كما يبدو أن الحياة «ذهبت فى الطريق الخطأ» ثيرموديناميكيا، هكذا يبدو أن الجاذبية ذهبت كذلك فى نفس الطريق<sup>(١٢)</sup>. نمو ناعم للغاز فى وسط تراكم معقد. ظهر النظام عفويًا. وبالنسبة للمصطلحات المعلوماتية، فيبدو أن هذا يمثل عودة لنقطة البداية. لأن حالة من الغاز المستقر، بكل بساطة هذه الحالة، يمكن وصفها عبر معلومات قليلة، بينما تتطلب مجموعة نجوم، أو مجرة معلومات وفيرة لوصف أى منهما. وفى بعض الطرق غير المفهومة بشكل صحى، فإن كمية ضخمة من المعلومات تبقى فى النهاية كامنة، كسر محفوظ تحت نعومة حقل الجاذبية لغاز مستقر عديم الملامح. وفى حالة ظهور أو بروز نظام، فإن الغاز



يخرج من حالة الاتزان وتتدفق المعلومات من حقل الجاذبية منتقلة إلى المادة. وجزء من هذه المعلومات ينتهي إلى الخريطة الجينية للكائن العضوى كمعلومات بيولوجية.

وبالنظر للكون ككل، فإن التوزيع الهادئ المبدئى للغاز الذى لفظه الانفجار الكبير، تحول ببطء إلى بقع أو لطخات من الغاز المكوّن، الأكثر حرارة نظمت نفسها فى النهاية إلى مجرات أولية بَرّاقة محاطة بالفضاء الخالى. وهذه تتحول إلى تشكيل من نجوم متوهجة. هكذا يساعد تمدد الكون على حدوث التغير الحرارى، لأنه نتيجة للتمدد الكونى تهبط الحرارة الخلفية الكونية. وتصبح النجوم المتقدة قابلة لنفث إشعاعاتها بقسوة إلى الفضاء البارد. وتكون خلاصة هذه العمليات التى صنعتها الجاذبية أن فجوة الأنطروبيا تفتح على العالم، الفجوة بين الأنطروبيا الفعلية وبين الحد الأقصى الممكن للأنطروبيا. ويكون تدفق ضوء النجم هى واحدة من العمليات التى تحاول إغلاق تلك الفجوة، ومن الناحية الفعلية، فإن كل مصادر الطاقة الحرة أو غير ذات المقابل بما فيها الطاقة الحرارية والكيميائية داخل الأرض، يمكن نسبتها إلى تلك الفجوة. وهكذا فإن الحياة تتغذى بعيداً عن فجوة الأنطروبيا التى أنشأتها الجاذبية. إذن يصبح المصدر المطلق للمعلومات والنظام متمثلاً فى الجاذبية.

وفى تعقب مصدر المعلومات إلى الوراء وصولاً للجاذبية وللحالة المستقرة للكون فور الانفجار الكبير، نتركنا بدورها مع مشكلة «الدالية». كيف برزت المعلومات ذات المعنى فى الكون؟ وهذا السر يقترب من الصلة بأصل «التعقيد»، ويشكل واحداً من العوامل المَعْرِقة للحياة.

وينقسم العلماء عما إذا كان التعقيد يسلك سلوك المادة أو أن شأنه شأن المعلومات، أى عما إذا كان التعقيد الكلى فى الكون يظل دوماً كما هو عليه. بعض الباحثين يعتقدون بوجود قوانين للتعقيد، وإذا كانت هذه القوانين موجودة، فربما تصف لنا «كيف» لحالة بسيطة يمكنها أن تتطور طبيعياً إلى ما هو أكثر تعقيداً،

حتى لو احتوت على معلومات دلالية أو ذات معنى. وهذه الحالة عادة ما تسمى: «التعقيد الذاتي» أو «النظام الذاتي»، وسوف يكون لدى ما أضيفه في هذا المجال عبر الفصول التالية. وثمة علماء آخرون يناقشون أن «التعقيد» لا يمكنه أن يُستحضر هكذا من وسط الهواء المحض، ولكن النظام المعقد لا ينشأ إلا من خلال نظام معقد آخر وعلى الأقل مماثل له في التعقيد. إلا أن الجاذبية المعقدة عادة ما تعطى فترات توقف مؤقتة تفسح خلالها المجال للتفكير، لأنها تظهر بالطبع وعلى نحو طبيعي من حالة مبدئية بسيطة.

ولكون الجاذبية من قبيل القوى الضعيفة، فإنه من الصعب تصور أنها تلعب هذا الدور المباشر في العمليات البيوكيميائية. ولو أن بعض الفروض من قبل الباحثين قد جرت على هذا النحو. فإن «روجر بنروز» **"Roger Penrose"**، الخبير العالمي في الجاذبية والرياضى الأوكسفوردي، تفكر في أن الجاذبية ربما تؤثر في البيوكيميائيات عبر عمليات كمية<sup>(١٣)</sup>. كما قارن الفيزيائي الرياضى «لى سمولن» **"Lee Smolin"** بين الحياة والجاذبية في كتابه الأخير بعنوان: «حياة الكون» **"The life of the Cosmos"**، حيث طور فيه محاكاة أو مشابهة بين سلوك أنظمة الـ **ecosystems** والمجرات الحلزونية الشكل أو ذات الحركة المغزلية وباستلهام نماذج كمبيوترية عن النظام الذاتي، وجد أن ثمة توازيًا مغلقًا في عمليات استرجاع المعلومات **feedback**. وأعتقد أن الحياة بزغت في عش صغير وبشكل تراثبي كنظام ذاتي التنظيم وبدأت في بيئتنا المحلية الطبيعية وتضاعفت منها على الأقل إلى مجرتنا<sup>(١٤)</sup>.

لو أن أفكار بنروز وسمولن كانت صحيحة وقد قيل عنها، إنها فقط تأملية جدًا - فهي ربما تكشف عن رابطة بين خصائص الطريق الخطأ للديناميكا الحرارية والتي تميز كلاً من نظم الجاذبية والبيوكيميائية. وكان يمكنها إذن أن تفسر أصل الحياة كمسألة ترتبط تمامًا وبعمق مع أصل الكون نفسه.

وفى خضم هذا المزاج التأملى، أود أن أضيف بعض الأفكار من عفوياتى. مفهوم المعلومات يظهر بوفرة فى عدة مجالات علمية مختلفة ليس فقط فى علوم الإحياء العضوى (البيولوجيا) والديناميكا الحرارية، ولكن أيضًا فى علوم الكمبيوتر، وفى عدة فروع أخرى للفيزياء. وعلى سبيل المثال فى ميكانيكا الكم، فإن الخواص الشبيهة بالموجات wave-like من المادة، توصف من خلال الرياضيات بواسطة دالة موجبة wavefunction، وهى تمثل كل شىء معروف عن النظام الذى تصفه مثل تقديم المحتوى المعلوماتى للحالة. وسوف أضيف المزيد عن هذا الأمر فى الفصل العاشر. إنما هنا أرغب فى الضغط على ملاحظة بأن السمة المميزة لوظيفة الموجة هى المسماة عادة باللامحلية nonlocality، إنها تنتشر عبر الفضاء وتصف علاقات غامضة تربط مع عناصر منفصلة بشدة علاقات عبر عنها أينشتاين بـ «علاقات شبحية» تجرى على البعد. وبكلمات أخرى فإن وظيفة الموجة ومحتواها المعلوماتى هى جوهر عالمى وليست كمًا محليًا، مثل كمية الحركة، أو الطاقة، أو الشحنة الكهربائية<sup>(١٥)</sup>.

ويظهر مفهوم المعلومات مرة أخرى فى النظرية النسبية، ولكن بطريقة مختلفة جدًا وغريبة جدًا. لقد طالما قيل بأن النظرية النسبية تمنع ارتحال أى شىء بسرعة تفوق سرعة الضوء. وهذا ليس صحيحًا، حيث تسمح بارتحال بعض العناصر بسرعة تزيد على سرعة الضوء (هذه العناصر الحدسية تسمى تاكيونات tachyons). والذى تمنعه النظرية هو انتقال المعلومات بأسرع من الضوء. والمشكلة هنا تتمثل فى أنه إذا استطاع «أ» أن يبعث بإشارة إلى «ب» بسرعة فائقة superluminal (اللومن مقياس لتدفق الضوء من مصدر ضوئى أو قياس سقوطه على سطح: المترجم)، فمن السهل أن نستنتج مفهومًا عامًا بإمكانية إرسال إشارات إلى الماضى، منشئين بذلك المتناقضات التقليدية المتعلقة بالسببية. وهذه التناقضات لم تجئ عبر إمكانية إنتشار الضوء فائق السرعة على هذا النحو: الضوضاء الأسرع من الضوء لا تهدد السببية، لأنها خلو من المعلومات ولكن

الإشارات الأسرع من الضوء (مثل المعلومات هنا) هي متناقضة بعمق بالغ. تخيل على سبيل المثال أن «الريموت» الإشعاعي، الذي يفتح باب الجراج الخاص بى، كان قابلاً لنقل الإشارة إلى الماضي، ولنقل قبلها بيوم، فإنه يمكننى أن أضغ هذه الخاصية على قنبلة إشعاعية نشطة مُبرمجة على الانفجار إذا استقبلت أى رسالة من المستقبل. ما الذى يحدث لو أننى ضغطت على الزر «غداً؟» ستتفجر القنبلة «اليوم»، مُحطمة معها الريموت نفسه، ولن أستطيع تنشيطه غداً. ولكن لو لم أوضاعه على الغد فإن القنبلة لن تتفجر. التناقضات من هذا النوع مألوفة جداً لدى المناصرين للخيال العلمى، والذين يهبون حياتهم له. والآن من حيث المبدأ، فإن زناد القنبلة لم تعد ثمة حاجة لأن يكون معقد الإشارات الإشعاعية.

وإنما يحتاج فقط إلى جسيم كمى وحيد يصدر عن جهاز الإرسال **transmitte**، ما دام النظام معداً بشكل صحيح للتجاوب مع ذلك الجسيم. وبكلمات أخرى إذا كان النظام مُنشأ بطريقة يكون فيها الجسيم المسئول هو إشارة لتفجير القنبلة، فنحن إذن نواجه متناقضة. ولكن الجسيم فى ذاته ليس مميزاً فالجسيم هو جسيم. ويصبح زناداً مفجراً للقنبلة أو متناقضة، إذا قام بنقل معلومات ما بين جهاز الإرسال والمستقبل. كأن نقول إنه المجرى الذى يرتحل فيه الجسيم فى الزمن إلى الخلف، وهو ما ينتج المشكلة، والمجرى هنا مفهوم عالمى. لا يستطيع الجسيم فى حد ذاته أن يكشف عما إذا كان ينقل معلومات أو لا، إذ ليست هناك ميزة إضافية أو مضافة إليه محلياً (كما تفعل مثلاً الشحنة الكهربائية) وهذه الميزة تقول: «أنا أحوز معلومات».

وهكذا تقترح ميكانيكا الكم، ومعها النسبية بأن المعلومات هى كونية أو عالمية عوضاً عن كونها كمية محلية. حيث لا يمكنك ببساطة أن تفحص موقعاً فى الفضاء وأن تعيش المعلومات. فالذى تراه - جزيئاً على سبيل المثال - يصبح معلومات فقط فى مجرى عالمى صحيح. سواء كان أو لم يكن الجزيء ممثلاً لمعلومات هامشية أو نافهة أو مادة ذات معنى دلالى حقيقى. وربما تكون لها نتائج دراماتيكية مثل نموذج القنبلة الذى قدمناه هنا.



كيف لكل هذا أن تكون له صلة بأصل الحياة؟ إنها تقترح أننا لن نكون قابلين أو قادرين على تعقب أصل المعلومات البيولوجية وربطها بعمليات القوى الطبيعية المحلية وقوانينها. وبصفة خاصة الدعوى المتكررة - كبحث يشكل انقطاعاً مؤقتاً - والخاصة بأن الحياة مكتوبة في قوانين الطبيعة، فهذا لن يكون صحيحاً، لو أن هذه القوانين محصورة على النوع المألوف الذي يصف التحركات المحلية والقوى المتقاربة أو المباشرة. علينا أن نسعى وراء أصل المعلومات البيولوجية في نوع من التجارب العالمية. لأنه قد يحدث أن تكون مجرد بيئة بسيطة، تلك التي وقع فيها الإحياء العضوى. ومن الناحية الأخرى فقد تتعلق المسألة بنوع أو طراز من القوانين الفيزيائية غير المحلية، والذي لم يتعرف عليه العلم بعد. وهذا الجلاء والوضوح يضع ديناميكات المعلومات في حالة ارتباك وحيرة مع ديناميكات المادة.

## الهوامش

- (١) ترنيمة الحياة "A Psalm of Life" لـ: هـ. دبليو لونجفيلو "H.W. Longfellow".
- (٢) طبيعة العالم الفيزيائي "The Nature of the Physical World" لـ: أ.س. إيدنجتون (Cambridge "A.S. Eddington" University Press, Cambridge, 1928, p. 74.)
- (٣) القانون الثاني، الأنطروبيا السلبية، الديناميكا الحرارية للعمليات الخطية "The Second Law, Negentropy, thermodynamics of Linear Processes" لـ: أ.إ. زوتين "A.I. Zotin" في الديناميكا الحرارية للعمليات البيولوجية Thermodynamics of Biological Processes الذى أشرف على تحريره آى لامبرشت "I. Lamprecht" و أ.إ. زوتين (de Gruyter, New York, 1978, p. 19)
- (٤) نهاية العالم: من وجهة نظر الفيزياء الرياضية "The end of the world: From the Standpoint of mathematical physics" لـ: أ.س. إيدنجتون "A.S. Eddington". (Nautre 127, 447, "1931").
- (٥) ما الحياة؟ "What is Life ?" لإيرون شروينجر. (Cambridge University Press, Cambridge, 1944, p. 81).
- (٦) فكرة المقارنة بين الأنطروبيا لاثنين من العضويات تعتبر فعليًا فكرة غامضة. ويمكن إعطاء تقويم أدق من خلال مصطلحات التعقيدات النسبية لتركيبهما الجينى. وهو ما يمكن التعبير عنه كمياً بما يسمى الأنطروبيا الحسابية نظام العد العشري (انظر الفصل الرابع). والأمر حينئذ أن العضويات الأعلى لها أنطروبيا حسابية أعلى (وليس أكثر انخفاضاً)، وفى ظل ذلك لا يتصادم مع القانون الثانى على أى حال.

(٧) نُشرت النسخة الألمانية في (Populare, Leipzig, 26, 1905) ويمكن الاقتباس من الترجمة الإنجليزية: التفكير في «التعقيد» «Thinking in Complexity» لكلاوس مينزر Klaus Mainzer.

(Springer-Verlag, Berlin 1994, p. 82).

(٨) النظرية الرياضية للاتصالات "The Mathematical Theory of Communication" لـ: س. إي. شانون "C.E. Shannon" ودبليو. ويفر W. Weaver.

(University of Illinois Press, Urbana, 1949).

(٩) ربما يكون القارئ متشككًا حول كيف يمكن قيام «اختيار» مثله مثل مقدمة للمعلومات، ولكن المعلومات في معناها الأعرض هي مجرد إقصاء للإمكانات. وإذا كانت لنظام فيزيائي حالة إمكانية واحدة، فإننا لن نعرف شيئًا من خلال البحث فيه. والمزيد من الإمكانيات هناك، هي أن ما نعرفه أكثر باكتشافه هي الحالة الفعلية. والاختيار الطبيعي يقضى على العضويات غير المناسبة، ويختار فقط نظامًا جينيًا معيّنًا عبر إمكانيات كثيرة جدًا. وكل الإمكانيات الأخرى يتم إقصاؤها. وهذا يعادل إضافة معلومات للنظام الجيني.

• الدور المفتاح لمفهوم المعلومات على جميع مستويات الحياة – بدءًا بالجزئيات خلال الخلايا إلى حتى الأدمغة – مشروح بشكل شفاف ومشرق في: وسيلة اختبار الحياة «The Touchstone of Life» لـ: ورنر لوينستين Werner Lowenstein.

(Oxford' University Press, Oxford, 1949).

(١٠) بعد استنتاج النظام المتسلسل للإنسان، أصبح واضحًا أن ١٠٠,٠٠٠ جين هو بالأحرى تقدير مبالغ فيه.

(١١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان «Evolution from Molecules to Men» والذي أشرف على تحريره د.س. بندال «D.S. Bendall».

(Cambridge University Press, Cambridge, 1983, p. 127).

(١٢) خاصية «الطريق الخطأ» للجاذبية يقترب في ارتباطه بحقيقة أن طاقة الجاذبية هي طاقة سلبية.

(١٣) العقل الجديد للأباطرة "The Emperor's New Mind" لـ: روجر بنروز "Roger Penrose" (Oxford University Press, Oxford 1989) وظلال العقل "Shadows of the Mind" (Oxford University Press, Oxford 1994).

(١٤) حياة الكون "The Life of the Cosmos" لـ: لي سمولين "Lee Smolin".

(Oxford University Press, Oxford 1997, p. 159).

(١٥) للقارئ الذي يرغب في المزيد من المعرفة حول «لا موضوعية الكم» وخواصه الشاذة. انظر على سبيل المثال: الشبح في الذرة "The Ghost in the Atom" لـ: بول دافيز "Paul Davies" (المؤلف) وجوليان براون Julian Brown.

(Cambridge University Press, Cambridge 1986).

(١٦) لمزيد من التفاصيل حول كيف تُقِيم مثل هذه الحالات التناقضية، انظر: حول الزمن "About Time" لبول دافيز (Viking London, 1995, Chapter 11).



## الفصل الثالث

### الخروج من الوحل

«إنك تعبر بدقة عن وجهات نظري عندما تقول إنني تركت جانباً، وعلى نحو متعمد، السؤال عن أصل الحياة، مفتقداً للفحص الدقيق، كما لو أنه معادل لفيروس فائق في مجال معرفتنا الحالية».

تشارلز دارون

.<sup>(١)</sup> Charles Darwin

كان المرحوم الإيرل مونتباتن عن بورما Earl Mountbatten of Burma ابن عم للملكة إليزابيث الثانية مغرمًا بدعوى استطاعته تعقب سلالة الملكية إلى ما وراء العام ١٠٦٦، أي إلى ما قبل هزيمة للنورمان Norman. ولعله أمر يثير الإعجاب والعجب على مستوانا جميعًا كمراقبين خارج الأمر أو كأفراد من العامة، وهل تفعل أنت غير ذلك؟

إن ألف عام من التاريخ تشمل ما يقرب من ٤٠ جيلاً. والمعروف أن كلاً منا له والدان، وأربعة جدود وثمانية آباء جدود، وكلما عدنا جيلاً إلى الوراء، فإن رقم الأسلاف يتضاعف. وباستخدام هذه القاعدة، فيبدو أن ٤٠ جيلاً سوف تضع أمامنا ٢<sup>٤٠</sup>، أو ما يقرب من تريليون من الأسلاف. وهذا الرقم يربو على عدد من عاشوا على الأرض منذ البداية، وحتى الآن وعليه يكون ثمة شيء خطأ في العملية الحسابية.

والخطأ يكمن في افتراض أن أسلافنا من البشر قد استمر انتشارهم في الأرض على مدى الماضي طوال الوقت، كما تقترح أشجار النسب تلك. إلا أن الواقع يقول إنك عند تعقب شجرة نسب في الماضي، فستجد أن خطوط الناس تتقاطع مع بعضها عند نقاط بعينها وأنها تعاود التقاطع مرة أخرى. وعليه فإن الجينات والدماء الملكية تنتشر وتصب عبر القارة، مما يجعلنا جميعاً أولاد عمومة بعيدة (أبناء عمومة دائرة كما نعبر عنها في مصر: المترجم)، وإني أيضاً تجرى في عروقي دماء ملكية، ولست محتاجاً لمثل الإيرل مونتباتن إلى توثيق المسألة والبرهنة عليها.

ومن خلال مزيد من الأفكار حول أشجار نسب العائلات نصل إلى نتيجة تظل غريبة، ليس في أن الأنساب لم تنتشر بانتظام طوال الماضي، ولكن فيما يظهر أنها عند نقاط معينة من التاريخ بدأت في التقارب والتجمع. ولعلنا نلاحظ أنه منذ مائة ألف سنة مضت لم تكن على سطح كوكب الأرض إلا حفنة من الـ «هوموسابينز» (الإنسان العاقل)، والذين انحدرت عنهم البشرية القائمة الآن كلها ومن دون استثناء. ونستطيع أن نقدر تلقائياً أن تنتهي كل التجمعات القائمة لسلف واحد هو ذلك البدائي الشبيه بالإنسان (وبالنسبة لمرجعية النساء على هذه الشجرة، فإن هذا السلف الواحد بالنسبة إليهن، قد يشار إليه من خلال حواء أفريقية African Eve، حيث يبدو قريباً للظن أنها عاشت هناك). وما هو أكثر من ذلك أن ما يصلح للبشر ينطبق بدوره على الأنواع الأخرى. ولبضعة ملايين من السنين قبل أن تبدأ حواء الأفريقية بأولى خطواتها عبر سهول السافانا الأفريقية قليلة الأشجار وقتئذ، فإن سلفاً مألوفاً لكل القروء والبشر سكن في أماكن ما من الغابة الأفريقية. وهكذا بالعودة إلى الوراء إلى ما هو أبعد من الزمن، ستجد الأنواع على اختلافها تقيم علاقات تبادلية وبما يتناقض بما هم عليه الآن من تحديدات وتميزات. بشكل واضح. ومن نصف بليون سنة مضت كانت إحدى الأسماك تمثل سلفاً لي، ومنذ بليونين من السنين كانت أسلافي مجرد ميكروبات.

ويمكن توظيف مثل هذا التسبيب في كل الكائنات الحية بما فيها الشجيرة القائمة خارج مكتبي، والعصفور المتقافز عند شباكى إلى حتى «الفطر» (المشروم mushroom) النابت فوق المرجة المخضرة خارج المكتب. لأننا لو استطعنا تعقب شجرة أنسابهم لدرجة كافية في الماضي البعيد، فسنجد أن أنواعهم المنفصلة تلك، ستتشابك في النهاية مُشكَّلة متصلاً واحداً. ونحن يمكننا تصور أو تخيل شجرة نسب لكل ما هو حي في يومنا هذا، أى نوع من شجرة نسب فائقة. وبصفة مطلقة، فإن أفرع هذه الشجرة الفائقة لا بد أنها ستتقارب أيضاً ليس فقط بدرجة قليلة، ولكن بدرجة كبيرة كلما ضاقت المسافة بين الفرع والساق الرئيسية للشجرة. وهذه الساق القديمة تمثل كائناً عضوياً واحداً وبدائياً، أعنى السلف العام لكل الحياة الأرضية: آدم ميكروبي الطابع، والذي تشكل مصيره في تعمير الأرض وتأهيلها بالسكان عبر ذرية من عدد وافر عصي على الإحصاء من الأخلاف<sup>(١)</sup>. ولكن كيف لهذا الكائن العضوى الصغير الذى أثمر بلايين الأنواع من النرارى، أن يتواجد فى الأصل؟ وأين عاش؟ ومن الذى كان قبله؟

### شجرة الحياة:

حول ربيع وصيف العام ١٨٣٧، وفور عودة تشارلز دارون Charles Darwin من رحلته الشهيرة على المركب هـ.م. إس بيجل HMS Beagle، شرع فى تشكيل وتأليف ما توصل إليه والذي أصبح بعدها النظرية المنسوبة إليه والخاصة بالتطور. وحول منتصف يوليو كانت أفكار دارون مازالت مبعثرة ومزاجه العام مضطرباً فى تلمس الطريق. وفى وسط العديد من ملاحظاته التى سجلها فى دفتر ملاحظاته والتى اتسم أغلبها بالتردد والانفعالية، إنما كان من بينهما كروكى تجريبى بسيط، والذي تبين وعلى نحو مفاجئ، أنه يشمل الفكرة المحورية، التى بدأت تتبلور فى ذهنه، التى كسحت أمامها بقية الأفكار. كان الرسم الذى وضعه لشجرة لها عديد من الأفرع الشاذة، ولكنها موحية بأنها ستتقل

لنا تاريخاً كاملاً لتسلسل نسب المزروعات والحيوانات: شجرة الحياة<sup>(٣)</sup>. وبشيء من المجاز فقد كانت بالفعل رائعة حيث نقلت لنا الفكرة الضرورية والأساسية في تأصيل الحياة عبر الماضى البعيد المعتم والغامض من خلال واقعة عضوية وفريدة. ومن خلال هذا السلف الوحيد العام والمشارك - ساق الشجرة - انقسمت الحياة وتنوعت خلال أزمنة طويلة، وعبر تفرع ناجح وأنواع جديدة تمخضت عن أنواع أقدم. ونهاية الأفرع مثلت انقراض وزوال بعض الأنواع، مثل الديناصورات وطيائر الدودو "dodo"<sup>(\*)</sup>.

ووجود مثل هذا الجذع الرئيسى أو ساق الشجرة هو نوع من التخمين، لأن دارون لم يكن محباً للأفكار المفرطة التعقيد! حول استمرارية ظهور الحياة، منشئة غابة متشابكة من الحياة بدلاً من شجرة وحيدة. واليوم يعتقد البيولوجيون أن تخمين دارون كان صحيحاً بشكل أساسى: الحياة على الأرض انحدرت من سلف واحد وعام.

والذى يجعلهم متأكدين على هذا النحو، ثمة عدة أسباب جيدة للاعتقاد بوحدة وعالمية السلف. وفي البداية نجد أن كل كائن عضوى معروف يشترك مع الآخرين فى نظام فيزيائى وكيميائى عام. الطريقة الأيضية لدى الخلايا وكيف تنمو، وما الذى يفعله كل جزيء ومتى؟، وكيف يتم تخزين الطاقة ثم إطلاقها؟ ومتى يتكون البروتين **proteins** وما دوره؟ كل ذلك يتم بنفس الطريقة تقريباً لدى الجميع. وكذلك الطريقة التى تسجل بها الخلية المعلومات الجينية. ثم إعادة إنتاجها أيضاً من بين المشترك العام لدى الأحياء. وربما يكون أكثر الأدلة إقناعاً بوحدة الأصل وعموميته، هو أن التعليمات الجينية يتم تنفيذها عبر كود عالمى (انظر الفصل ٤). بل يصبح بعيداً جداً عن التصديق بأن كل هذه السمات المعقدة وذوات التخصص العالى الدرجة قد بزغت للوجود منفصلة عن بعضها على مرات كثيرة. وإنما الأكثر قرباً للتصديق هو أن هذه الخواص تمثلت فى الخلية العالمية القديمة والموروثة لدى الأخلاف الحالية.

---

(\*) طائر منقرض من فصيلة الحمام، ولكنه من حيث الحجم يفوق حجم الديك الرومى. (المترجم).

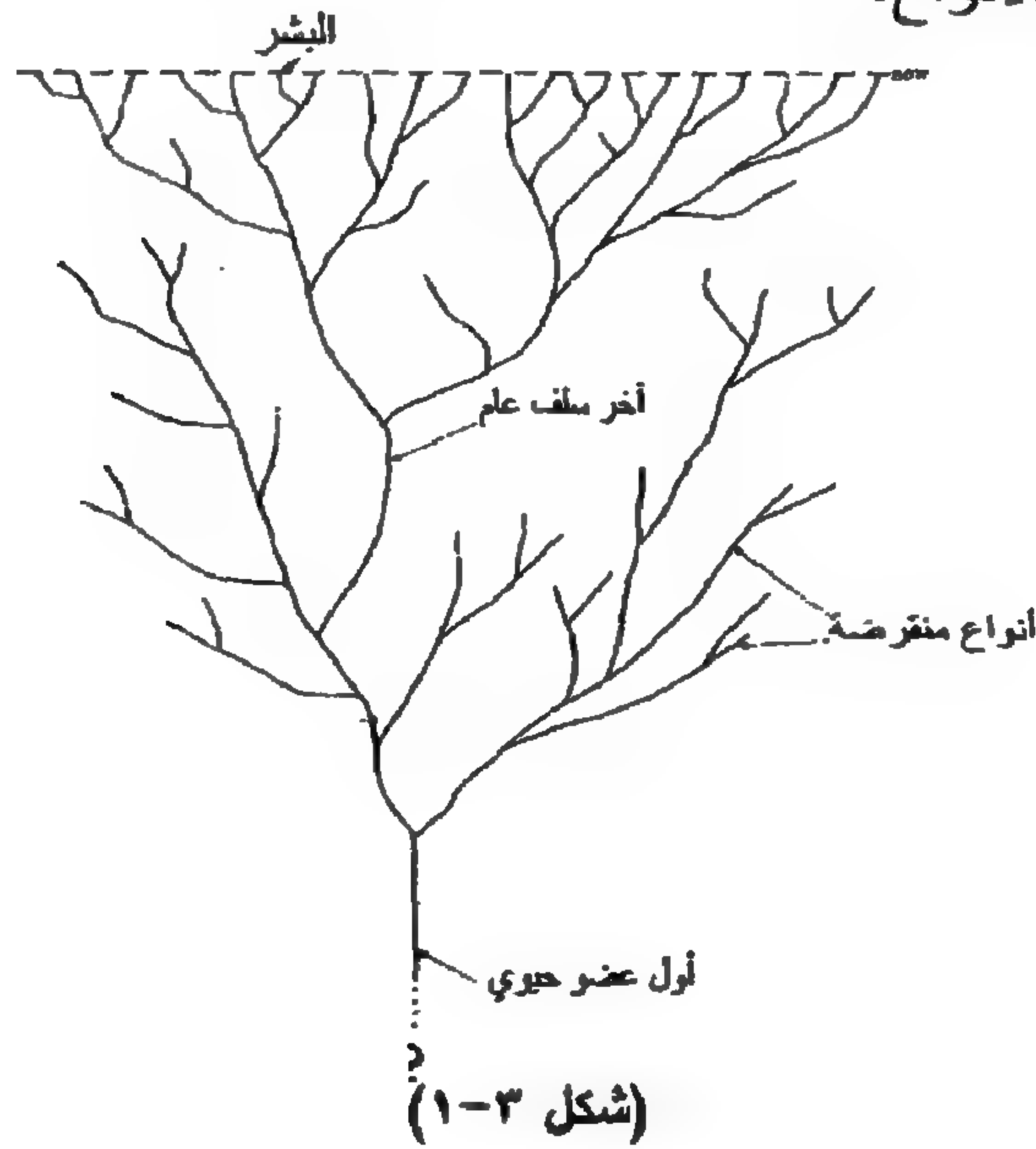


ويأتى دليل آخر على عمومية ووحدة السلف، وهو هذا التدبير الصناعى للجزيئات فى إدارة شئونها والمعروف فنياً بالاقتصاد (لا زيادة ولا نقصان) والـ: "chirality"<sup>(\*)</sup>. فكل الجزيئات العضوية ليست على نفس النظامية فى شكلها، حيث تعكس صورتها عبر المرآة (فرضاً) تبدو مختلفة كاختلاف اليد اليسرى عن اليد اليمنى (إذ لديهما ما يمكن تسميته: «عكسية الاقتصاد» الذى عنيناه "opposite chirality"، فالدنا DNA تلتف فى شكل حلزوني أو اتجاه يمينى، بينما صورتها المرآوية كأنها التفاف حلزوني متجه لليسار. ومع ذلك، فإن القوى التى تجمع هذه الجزيئات مع بعضها لا تفرق بين اتجاه يمينى أو يسارى لها، فلا قانون الطبيعة قد منع جزيء دنا يسارى الوجهة من القيام بدوره، ولا أحد وجد حتى الآن أيًا منها عاطلاً عن العمل. وبالمثل، فإن كل الجزيئات العضوية تحوز الخاصية نفسها الـ: chirality، سواء يمينية الاتجاه أو يساريته، وهذا ينطبق على كل الأشياء الحية، وهو ما يشير بدوره إلى أن الحياة تحدرت عن خلية واحدة كسلف لها، وتشتمل جزيئاتها على نفس الخاصية المشار إليها والموجودة إلى اليوم.

ومن المهم ألا يختلط علينا الأمر بين هذا السلف العمومى وأول شيء حى. ولتوضيح هذه النقطة، فإن الشكل (٣-١) يظهر مدى التشكل التخطيطى الطابع للحياة، كما تبدو لنا اليوم، وحيث يمكنك البدء من أى مكان مع فرع من الأفرع ثم تعقب جذوره، وحتماً ستصل إلى الجزع أو الساق الرئيسية. ولاحظ أن معظم الأفرع الأكثر انخفاضاً تمثل الحياة الأكثر قدماً من ناحية خط النهاية. ومن ناحية الحقيقة، فإن أكثر من ٩٩٪ من كل الأنواع، التى سبق أن عاشت، قد اندثرت الآن وانقرضت. وإذا ما بدأت بقمة الشجرة (والتي تمثل الحياة اليوم) وتتبع الأفرع إلى أصولها المتأخرة العامة، وهى نقطة يمكن أن تضلنا، فإنك لن تجد قاعدة الفرع متصلة بالجذع الرئيسى على الإطلاق، ولكنها فوق وأسمى من الأفرع الأدنى. وهذه الأفرع الدنيا تمثل الأنواع المنقرضة التى تحدرت عن أصول انقرضت بدورها. وعلى الجملة، وعلى نحو حرفى يمثلون النهايات الميتة فى شجرة الحياة.

(\*) وهذه الكلمة تستخدم كصفة للجزيء وتعنى أنه لا يفرض انعكاس صورته فى المرآة. (المترجم).

ومعظم هذه النهايات الميتة كانت بلا شك كائنات تشبه الحياة الباقية حاليًا من حيث حالتها البيوكيميائية. ومن المفهوم أيضًا، أن بعض الخلايا كانت تستخدم عمليات دخيلة أو غريبة والتي لا تعثر لها على مثيل في أي نوع حي حاليًا. وعلى سبيل المثال وربما وُجدت ميكروبات توظف شفرة جينية مختلفة. وربما وُجدت هذه الأنواع الغريبة أنها في حالة تنافس مع نوع حيوانيًا، وربما تم دفعها للانقراض لأنها كانت أقل كفاءة في التأقلم. ومن الممكن ألا تكون كلها قد ماتت بالكامل. وربما تزل أقدام البيولوجيين يومًا ما، عبر ميكروبات غريبة في بيئة غير عادية في مكان ما على الأرض، أو على المريخ، والتي يمكن أن تكون أحياء باقية من واحد من الأسلاف التي تمثلها الأفرع الأدنى في شجرة الحياة. وهذا العالم الميكروبي المفقود ربما سيعطى العلماء فرصة هائلة لدراسة عمليات الأيض والجينات في تلك الأنواع.



شجرة الحياة على نحو بالغ التبسيط، حيث نجد جذع الشجرة ممثلًا لأول شيء حي، وتمثل أيماننا الحالية الأفرع القمم في الشجرة والتي من بينها الكائنات البشرية. والأصل المشترك العالمي للحياة الباقية بعد، يقع في منتصف الشجرة تقريبًا عند بداية شكلها الشبيه بالشوكة، والذي يصل بين أفرع الشجرة العليا.

أما الأفرع السفلية، فهي تمثل الكائنات العضوية التي لم تبق لها أسلاف حية. والرسم على النحو الموضح قد بالغ في أعداد الأنواع البعيدة في مقابل ما بقي حيا من أنواع.

وبطريقة تثير الفضول، ربما تحتوي عمليات الأيض (تمثيل الطعام) لدينا على بقايا غير ضارة لنظام بيوكيميائي بديل، نبذته أسلافنا منذ أمد طويل، ولكن استبقته بطريقة مقدرة حتى الآن، بعض العضويات الحية المنقرضة. وإذا كان الأمر كذلك، فستكون أجسادنا مشتملة على ذكرى خافية للحياة البديلة والتي انقرضت منذ بلايين السنين. وهذه الفكرة ليست تأملية على نحو ما تبدو عليه. فكثير من الخلايا (بما فيها خلايانا) تحتوي على وحدات إضافية معروفة باسم ميتوكوندريا "mitochondria"<sup>(\*)</sup>. ومن المعتقد أنها بقايا آثارية لميكروبات كانت مستقلة ثم غزت الخلايا لتقتل ضيافتها الدائمة، وهي عملية تعرف بالتكافل أو التعايش بين متعضيين غير متشابهين "symbiosis".

ولتري كيف يتم مثل هذا التعايش، تخيل معركة تقليدية بين الباكثيريا، سوف تهاجم الميكروبات آكلة قريناتها من دون شفقة، كما بين أسماك القرش والأسود في معركتهما من أجل البقاء. ومع ذلك فعلى مستوى الباكثيريا، فإن عمليات الهضم تتناظر مع عملية العدوى: (أ) ينتهي داخل (ب) فإذا ما انتصر (ب) ومات (أ)، فنحن نسمى هذا غذاءً وإذا ما انتصر (أ) وهلك (ب) نسمى الأمر عدوى. ومع ذلك فقد يحدث أن (أ، ب) يصلان إلى موقف يخرج فيه كل منهما الآخر كما يحدث في حالة وضع الشاه (الملك) في مباراة شطرنج في موقف حرج تمهيداً للقضاء عليه، ومن ثم يتوافقان على أن يبقيا معاً في حياة متكافلة، ليوفر كل منهما ما يفيد الآخر. وثمة حالات عديدة من هذا التكافل في الطبيعة مثل الحيوانات أو النباتات التي نسميها بالطفيلية "parasites". ونحن لن نحتاج للنظر إلى أبعد من نظامنا الغذائي

---

(\*) وهي عبارة عن مكونات دقيقة داخل الخلية تأخذ الشكل الكروي أو العصوي وتعد من المراكز المهمة لتوليد الطاقة الناتجة عن أكسدة المواد الغذائية ومفردها «مُتَقَدَّرَة» "mitochondrion" (المترجم).

الذى يعج بحشود كبيرة من الباكثيريا تساعدنا فى هضم الطعام وتمثيله. وفى الوقت نفسه تتعم هى بحياة جيدة. نحن إذن لا يمكننا أن نستمر فى الحياة من دون الميتوكوندريا التى تقوم بدور الوحدات المنشطة للخلايا.

هذا، والنظرية الخاصة بأن هذه الميتوكوندريات كانت فى السابق كآفات عضوية مستقلة، يمتد عمرها لقرن من الزمان، ولكن أثبتت من جديد لتصدر الموقف فى أخريات الستينيات من القرن الماضى بمعرفة لين مارجوليس Lynn Margulis. وطبقاً للنظرية فقد استهلت حياتها، مستخدمة نظامها الأيضى وإعادة الإنتاج، على نحو مسالم مع الخلايا المضيفة. ومع تقدم الزمن فقد اقتضى التطور أن يسلبها الكثير من استقلالها الأصلى، ورضخت أنشطتها لصالح الخلية المضيفة، ومع ذلك احتفظت الميتوكوندريات ببعض من مادتها الجينية كذكرى خافتة لاستقلالها السابق.

ومنذ طبعت لين مارجوليس نظريتها، تنامت الأدلة المعضدة لها. والآن يبدو أن الميتوكوندريات ليست وحدها فى هذه الخاصية، فهناك غيرها يعيش داخل الخلية من تلك الكائنات الأنبوبية الشكل *microtubules*<sup>(\*)</sup>، والزوائد الشبيهة بشكل السوط *whip-like flagella*<sup>(\*\*)</sup> وغيرها، وكذا فإن النقاط الملطخة للأغشية التى تحمى الخلايا من التسمم الأكسجينى، يمكن اعتبارها كأثار ضئيلة متبقية من غزو الباكثيريا. وفى النباتات الخضراء، فإن الأجزاء منها المحتوية على الكلوروفيل، والتى تقوم بالدور الحيوى فى عملية التمثيل الضوئى (المقابلة للأبيض فى المملكة الحيوانية)، يمكن بدورها أن تكون متحذرة عن الباكثيريا المعروفة بلونها الأزرق الداكن *cyanobacteria*. وعلى ذلك فإن بعض أفرع شجرة الحياة ربما تنتهى إلى خلط حياتها مع آخرين عوضاً عن أن تصل فى النهاية إلى فرع ميت أو منقرض.

---

(\*) بنية أسطوانية الشكل (أو أنبوبية) تتواجد من مادة كثير من الخلايا، ويزداد عددها أثناء فترة انقسام الخلايا، كما يشكل عدد محدد منها ما يعرف بالأهداب الخلوية (المترجم).

(\*\*) مستفيد هبى يوجد فى أهداب أو ما يعرف بسياط الجراثيم المهدية. (المترجم).



## المبادئ الثلاثة للحياة:

عندما كنت فى المدرسة، علمونا أن الأشياء الحية تنقسم إلى مملكتين كبيرين: مملكة النبات ومملكة الحيوان. ولكن بعض الكائنات وحيدة الخلية كالأميبيا amoebae، فقد كان ينظر إليها كأشكال بدائية متخلفة وغير متطورة من الحيوانات، ومن المنظور نفسه كانت الطحالب أيضاً تعتبر نباتاً بسيطاً. كما لم يكن يتم تشجيع أى تساؤلات حول البكتيريا. وللأسف فقد تم تضليلنا. وفى عام ١٩٣٧ قُدمت لنا خطة أفضل، حيث قسمت الحياة إلى مادة وراثية غير محاطة بغشاء نووى يحميها وتعرف باسم بروكاريوت prokaryotes، وأخرى محاطة بهذا الغشاء وهى الأعلى تطوراً وتعرف باسم إيكايريوت "eukaryotes" (\*). والأولى منها تكون صغيرة بالنسبة للكائنات العضوية وحيدة الخلية التى تفقد جزيئات الخلية وبعض البناءات الأخرى المعقدة. إنها تشتمل على البكتيريا وتقوم الإيكاريوتات بباقي العمل. ولكن ماذا عن تكوينات تتألف مما هو أكبر وأكثر تعقيداً ككائن عضوى وحيد الخلية مثل الأميبيا، بالإضافة لكل الكائنات متعددة أو كثيرة الخلايا، والتى يمكن التفكير فيها كمستعمرات لخلايا الإيكاريوتات. ولو أن تكاثر متعددات الخلايا لم يبدأ إلا منذ حوالى ٦٠ مليون سنة، لقد مهدت تلك الإيكاريوتات الطريق إليها فى وقت أبكر من هذا.

---

(\*) وقد أستخدم هذا المصطلح prokaryote لأول مرة بمعرفة العالم الفرنسى شاتون للدلالة على خلايا ذات مادة وراثية لا يحميها غشاء نووى، وجينات المادة الوراثية فى هيولى الخلية. وتقابلها أنوية ذات تطور عالى الدرجة وتكون مغلقة بأغشية نووية تحمى المادة الوراثية بداخلها وهى التى يسبق تسميتها الحرفان eu، ويعنيان عند استخدامهما فى بداية الكلمات «الأفضل» أو «الأحسن». (المترجم).

إن الشجرة الموضحة بالشكل (٣-١) تخطيطية بالكامل، ومن حسن الحظ أنه يمكن عملها بوجه كمي آخر للمسألة حيث تظهر الفروق الجينية بين الأفرع. وذلك لأن الخلية عرضة لكى تتسخ أخطاء فى وقت إعادة الإنتاج، ومن الناحية المبدئية فإن الخلايا المتشابهة من الناحية الجينية، ربما تتدفع بعيداً عن تلك الأخطاء وذلك إلى حين تأخذ عملية التحويل أو التبديل فى الإحياء العضوى، طريقها للاستكمال عبر تتابع الزمن، فإذا ما تمت عملية التحور، فإن نوعاً جديداً يظهر. وكقاعدة عامة، فإنه كلما كبر عدد التغيرات بين نظامين من الجينات، بُعد وضع النوع فى شجرة الحياة. فعلى سبيل المثال تتشابه جيناتك بالتأكيد مع ما لدى من جينات، ولكنها أقل تشابهاً مع تلك التى لدى القروء، وتظل أقل بالنسبة لما لدى السلاحف، وكذا ما لدى حبة البازلاء من جينات. والفروق بين تركيبات أو تشكيلات الجينات من الممكن قياسها بدرجة من الدقة من خلال تقنية ترائب البروتين فى الخلية، وأيضاً عبر الحوسبة الكمبيوترية والنسبة بين المواضع فى شجرة الحياة.

ومن الممكن مقارنة الإجراء نفسه مع دراسة تطور اللغات، فعندما استقر مقاتلو الفايكنج Vikings فى أيسلند Iceland ظلوا فى البداية يتكلمون بلغة أجدادهم الإسكندنافيين، ومع الوقت وقلة اتصالهم بباقي الأراضى الأوروبية، تأكد تحول أيسلند إلى تلك اللغة، حتى أصبحت الآن معتبرة كلغة منفصلة بذاتها، وأن ذلك يعتبر حقاً لها. ولكن لو عدت للخلف خمسمائة عام، فإن الفروق لم تكن كبيرة. ودرجة التشعب أو الاختلاف بين اللغتين تعطينا مقياساً يدلنا على أى مدى تطورت كل من الأمتين بشكل مستقل عن الأخرى.

وقد أجريت دراسة منذ ٣٠ عاماً بشأن البروتين المسمى «سيتوكروم س.»<sup>(\*)</sup>: "cytochrome C" والذي يستخدمه العديد من الكائنات العضوية بما فيهم البشر. وكما سأصف الموضوع تفصيلاً بعد قليل، فإن كل البروتينات تتكون من

---

(\*) وهو أحد أفراد عدد كبير من الأصبغة الحيوية الواسعة الانتشار فى الأنسجة الحيوانية والنباتية والتى تلعب دوراً مهماً فى عمليات الأكسدة وتعنى الإلكترونات. (المترجم).

وحدات جزيئية تسمى الحامض الأميني "amino acids"، والسيٲوكروم C يتكون من مادة متنوعة إلى عشرين نوعًا منها تقريبًا. وبمقارنة تراتبات الحامض الأميني في السيٲوكروم C المأخوذ من أنواع مختلفة، فإن تقديرًا يمكن إنشاؤه حول مُدد التطور التي ارتحلت من نوع إلى آخر. ولكي أعطيك مثالًا متماسكًا، فإن السيٲوكروم C البشري يتماثل مع قرينه المأخوذ من الرئيس "rhesus" (وهو فرد هندي قصير الذيل: المترجم)، في ما عدا نوع واحد من الحامض الأميني، في الوقت الذي يوجد فيه ٤٥ فرقًا بين البشري منه والمأخوذ من القمح. الكل تقريبًا يعلم بأننا البشر أكثر انتسابًا للقرود، بالمقارنة مع انتسابنا للقمح، وهذه الدراسة التي تحدثت عنها تطلعنا إلى أى مدى يكون ذلك. والنقطة المهمة في الأمر أنه، ولو أن ثمة فرقًا كبيرًا بيننا وبين القمح، إلا أننا نشترك معه بدرجة كافية. وبالنسبة لبناء جزيئات السيٲوكروم C، فهي تؤكد أن لنا في البدء سلفًا مشتركًا.

وبشكل عام، فكلما ابتعد نوعان من الناحية الجينية، أعنى بهذا أنهما انقسما وتم تحولهما منذ أمد طويل في إطار شجرة الحياة. (ومن سوء الحظ أن عمالية التحول التطورية هذه تستغرق أمدًا طويلة من الزمن)، وطالما أن الإحياء العضوى لا يقع بشكل له هيئة أو ترتيب معين في التاريخ. فإن تحديد وقائع بروز الأفرع، هو من قبيل الأمور الصعبة.

وفي أواخر سبعينيات القرن الماضى أجريت أبحاث وطبقت بأسلوب منظومى على بروتين والحامض الجزيئى لميكروبات بعينها، كما خضعت لها أنواع أكثر تعقيدًا ومن رتب أعلى. وكان في مكان الريادة بين الباحثين في هذا المجال كارل وويز Karl Woese من جامعة الينويز Illinois، إلا أن أبحاثه لم تترك إلا أثرًا قاصرًا أو قليل الأهمية. وكان البيولوجيون قبله، قد افترضوا بشكل طبيعى أن البروكاريوتات قد فاقت في أهميتها الإيكاريوتات لعدة بلايين من السنين، وأن هذا الوضع يجعل الأولى في مجال الزهو لانتسابها إلى الساق الرئيسية لشجرة الحياة المعروفة لنا. والاثنان معًا بشكل أساسى قد اعتراهما خلل

ما. إلا أنه وجد أنه ليس ثمة اثنتان من مجالات الحياة، وإنما ثلاثة كبار. وهو ما عرف فيما بعد على أن البروكاريوتات تطوق مستويين متميزين عن بعضهما، من حيث التركيب الجيني للخلايا، مطلقاً عليها اسم. «إيباكتيريا» *eubacteria*<sup>(\*)</sup> وأرشي باكتيريا *archae bacteria*<sup>(\*\*)</sup>. ومن قبل كارل فقد صنف الأرشى باكتيريا، على نحو خطأ، على أنها نوع غريب من سلالات الجراثيم. إلا أن كارل أظهر لنا أنه على الرغم من مظهر الأرشى باكتيريا المضلل باعتبارها تشبه الجراثيم، فإنها بمصطلحات الكيمياء العضوية مختلفة تماماً، كما يختلف الإنسان عن الديدان المعروفة باسم إى-كولى *E.coli*<sup>(\*\*\*)</sup>.

هذا، واقترحت أبحاث كارل أن تعاد تسمية المجالات الرئيسية للحياة:

١. أرشيا *archaea* (وهى تفيد أن شيئاً فى بداية تشكله أو قديم - المترجم).

٢. باكتيريا *bacteria* (الجراثيم).

٣. إيكاريا *eucarya* (وتعنى النواة أو الخلية السوية بلا نقصان أو تزيّد فى تركيبها - المترجم).

وقد انشطرت بعيداً عن بعضها منذ أكثر من ثلاثة بلايين من السنين، ومن ثم فإن هذا التشعب الثلاثى الأفرع فى شجرة الحياة قديم وعميق فى التاريخ، وربما وقع بعد بدء الحياة بقليل (انظر الشكل ٣-٢). وهذا هو الذى أبرز فوراً أهمية السؤال الذى لم يتم حله بعد عن كيف لهذه المجالات الثلاثة أن تموضعت على شجرة الحياة؟، وأياً منها كان الفرع الأسبق من غيره؟ وكان من أبرز الأدلة فى

---

(\*) رتبة من الجراثيم تتألف من خلايا بسيطة غير متميزة كروية أو عصوية الشكل.

(\*\*) جراثيم بدائية أو فى بداية تشكلها قديماً.

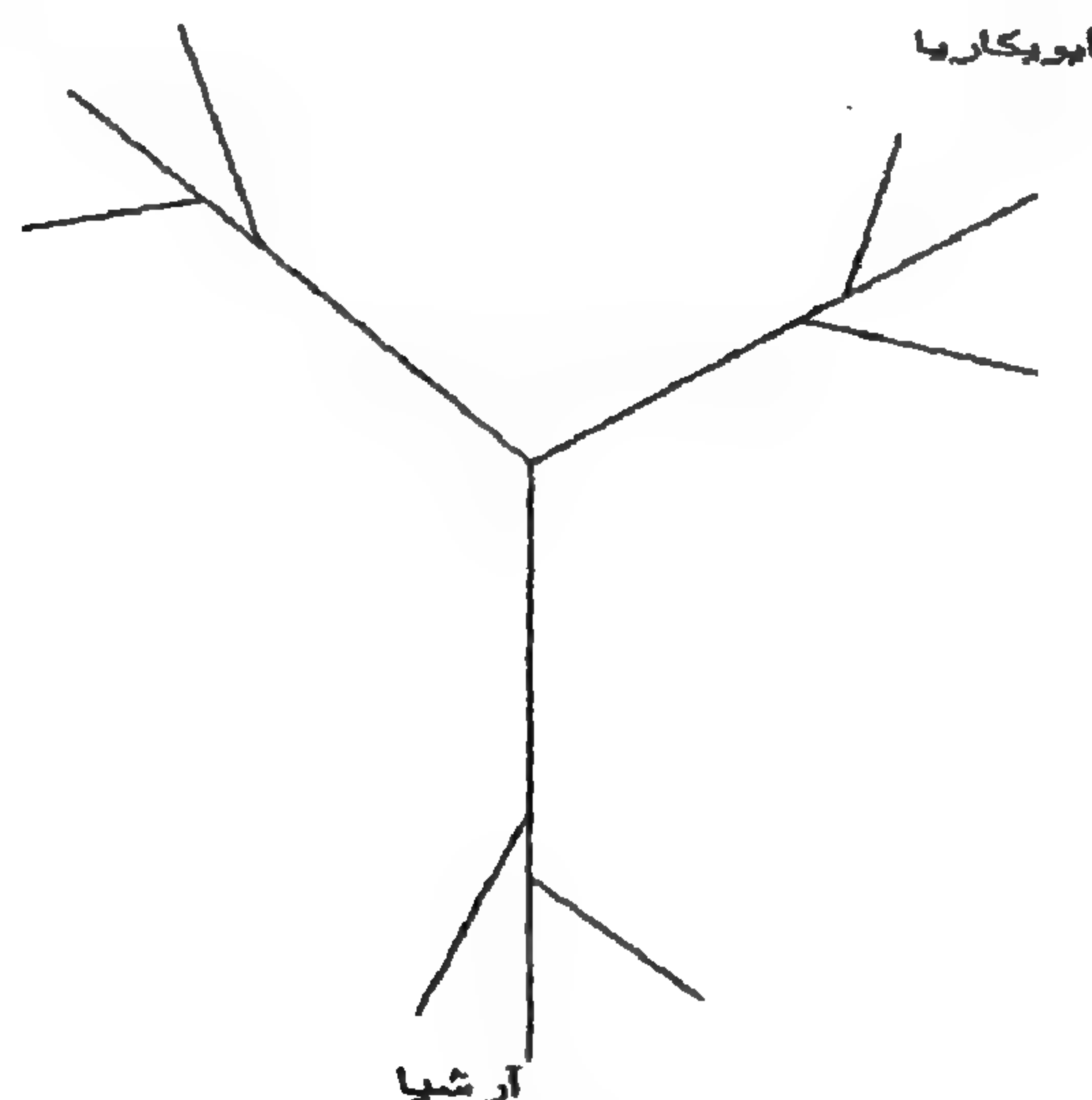
(\*\*\*) واسمها الكامل *escherichia coli* ومسماة لدينا «إسكارس»، وهى واحدة من بين ديدان عديدة تعيش فى أمعاء الثدييات، ولأنها تتكاثر عن طريق الانقسام البوغى فهى وافرّة جداً (تتراوح أعدادها فى الغائط اليومى الأدمى ما بين ١٠٠ بليون و ١٠ تريليونات) ويكفى فى القضاء عليها وتنشيط تكاثرها الغليان البسيط أو البسترة (التعقيم)، وهى تتكاثر فى الأماكن الدافئة وتنمو فيها. (المترجم).



هذا المجال ما نتج عن أبحاث كارل ستيتز "Karl Stetter" من جامعة ريغنسبرج "Regensburg" بألمانيا، وكل من نورمان بيس "Norman Pace" وسوزان بارنز Susan Barns من جامعة إنديانا<sup>(٤)</sup> "Indiana" اقترحوا: برسم إيضاحي، كالذي يبدو بالتقريب في شكل (٢-٣).

وليس لدى البيولوجيين أي شك في أن مجالات الحياة الثلاثة يجمعها في الأصل سلف واحد. وبالرغم من الانقسام الحالي بين المجالات الثلاثة، فإن الطابع الجيني وأدوات أو أجهزة التمثيل الغذائي هي نفسها، كما يتشاركون في كثير من التخصصات المعقدة. ومن هذا يتضح أن الأصل العام لها جميعاً كان كائناً عضوياً غاية في التعقيد، وليس جوهراً بدائياً ظهر للوجود مؤخراً. ولقد أشرت في الفصل السابق إلى أن هذا السلف العام ليس هو أول من كان حياً. وإذا كان هذا الأخير على صلة ببث الحياة للمجالات الثلاثة، فلا شك سيكون موقعه عند القاعدة الحقيقية لشجرة الحياة.

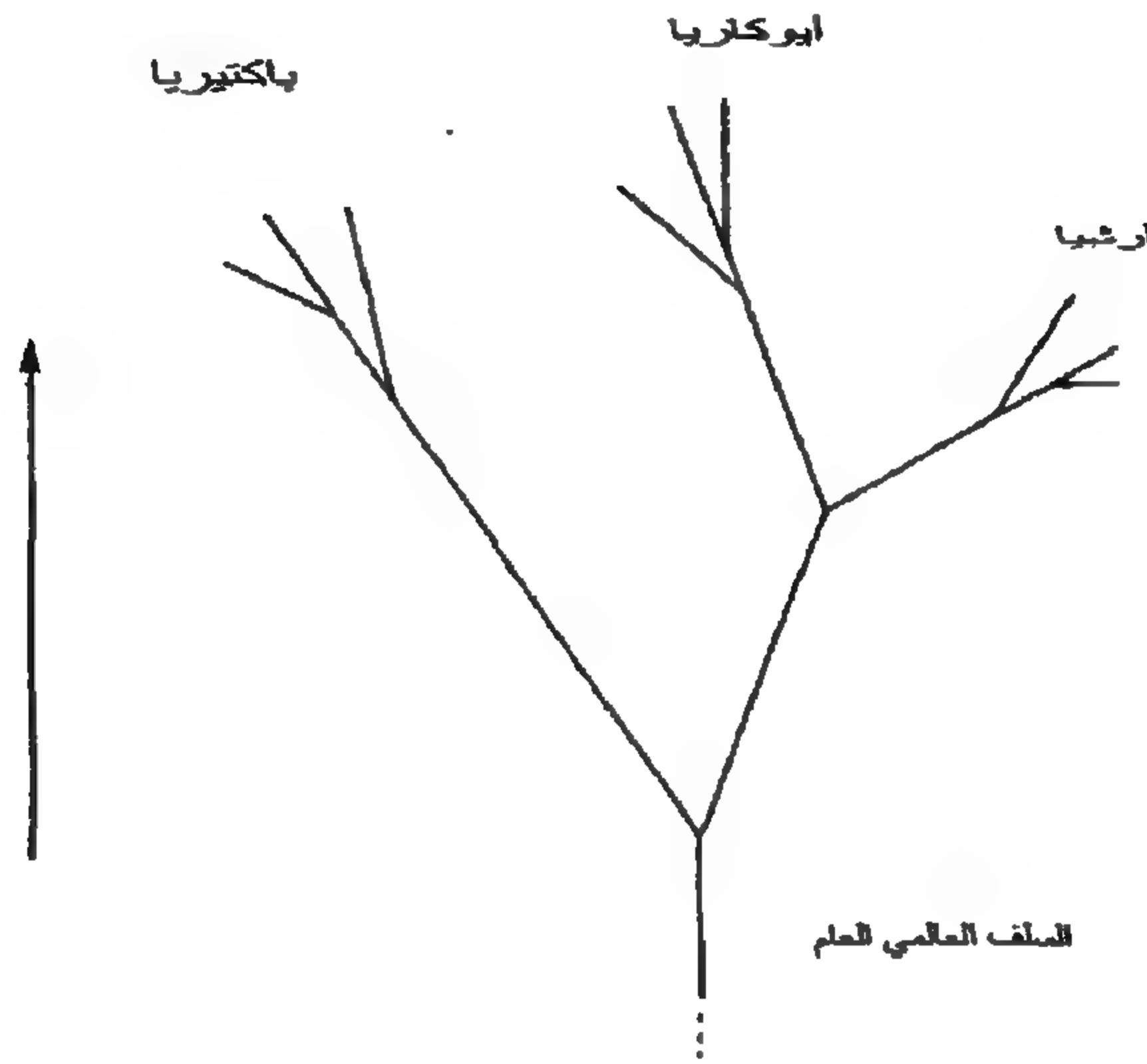
باكتيريا



(شكل ٢-٣)

نقطة التتابع الجزيئي تظهر أن الحياة الأرضية تنقسم إلى ثلاثة مجالات متميزة عن بعضها البعض، كل جزئيات الكائن العضوي، هي بالتحديد تابعة لمجال الإيوكاريا "eucarya"

هذا وقد أحدثت تقنية تعاقبية الجزيئات ثورةً في مجال دراسة الميكروبات، كما سلطت الضوء على غوامضٍ جديدة بشأن بدايات الحياة. ومن تأثيراتها مثلاً أن جعلت ثمة فائدة للأحفورات الجزيئية الكامنة في الخلايا الحية. كما تشير النتائج إلى امتداد تاريخ المجالات الثلاثة للحياة مع أعماق تفرعات في الأنواع، والتي وقعت عبر الثلاثة بلايين سنة الماضية، وكيف وقع هؤلاء الباحثون وما وجدوه، في خاتمة أو ساحة الأساليب التقليدية في النظر في أحافير الصخور القديمة.



(شكل ٣-٣)

أحد التحديات الكبرى لعلم الميكروبيولوجي يتمثل في موضعه أصل شجرة الحياة في اتصالها بالتشعبات الثلاثة التي رصدها مخطط الشكل (٣-٢). ففي الشكل عاليه فإن السلف العام (المشترك) يقع في مكان ما بين البكتيريا والآرشي.

#### أقدم أحفورة صخرية:

تعتبر منطقة البيلبارا Pilbara في غرب أستراليا واحدة من أعلى مناطق العالم حرارة، وأكثرها انعزالاً، وأقلها من حيث الكثافة السكانية. وعلى بعد حوالي

٤٠ كيلومتراً غرب مدينة ماربل بار Marble Bar يقع المسمى خطأ «السمات الجيولوجية للقطب الشمالى» geological feature of North Pale. وفى المنطقة الحافلة بالهضاب من هذا الموقع وفى عام ١٩٨٠، اكتشف طالب الجيولوجيا جون دنلوب John Dunlop أقدم أحفورة صخرية معروفة فى العالم. وبداية: فإنها لم تكن تشبه كثيراً الأحفورات. لا توجد هنا أصداف حجرية متبقية من بعض الرخويات المنقرضة ولا واحدة من المفصليات المنقرضة ثلاثية الفصوص، وإنما فقط بعض الهضاب الركامية الغربية. وهذه البناءات تشكلت حين ضمت الباكثيريا المائلة للزرقة جدران من الحبوب المعدنية، تراكتت على بعضها طبقة فوق طبقة مشكلة سلسلة من الأكمات شبيهة بالوسائد cushion-shaped، وهى تماثل ما يمكن العثور عليه اليوم فى حالة تشكل على بعد ٥٠٠ كم تقريباً من القطب الشمالى عند ما يسمى خليج القرش Shark Bay على الشاطئ الغربى لأستراليا<sup>(٥)</sup>، وهى أيضاً كانت قد تشكلت فى المادة التى ترسبت فى البحيرات البركانية الناجمة عن الأنهار الجليدية، والتى يُعتقد أن عمرها يرجع إلى ٣,٥ بليون سنة. وبعد عثور دنلوب على أحفورته بوقت قصير عثر فريق من الأحاثيين (علماء الأحفورات الأثرية) palaeontologists من كاليفورنيا يقوده ويليام شوب William Schopf على علامات أحفورات ضخمة منفردة لميكروبات لها نفس العمر الزمنى، بالقرب من تلال واراوونا Warrawoona<sup>(٦)</sup>. وبدأت هذه الأحفورات كأجزاء رفيعة من شعيرات مطمورة فى الصخر الصوانى غير النقى chert، ومال الاعتقاد أو الظن إلى أنها من الباكثيريا الزرقاء المتكونة فى بحيرة قديمة أدفاتها حرارة الشمس<sup>(٧)</sup>.

وبالاتجاه شمالاً من منطقة بليارا، فإن أقرب مدينة معقولة هى مدينة دارون Darwin، والتى سميت باسم ذلك العالم العظيم. وكان دارون قد أصابته الحيرة للغياب الظاهر لأحفورات الفترة السابقة عن العصر الكامبريانى Cambrian، أى قبل ٦٠٠ مليون سنة مضت. كانت الأحفورات هناك بالفعل، ولكن قبل العصر

الكامبرياني كانت المخلوقات صغيرة لدرجة يصعب معها تعقبها وتحديد مواقعها بمعرفة صائدي الأحفورات العاديين. وحتى خبراء الأحافى المحترفين، والذين تعضدهم الحكومة (وزارة التقنية الفنية)، لم يكشفوا إلا عن مواقع قليلة تضم أحفورات صغيرة بحجم المايكرو micro أقدم من ٢,٥ بليون سنة، وظلت مستمرة في مواقعها.

إذا كان قد تم تعريف الأحفورات المتناهية الصغر التي وُجدت في واروونا على نحو صحيح بأنها باكتيريا زرقاء، فإن ذلك يعنى أن الحياة قد اكتشفت التمثيل الضوئي photosynthesis مبكرًا، منذ حوالي ٣,٥ بليون سنة مضت. والتمثيل الضوئي عملية كيميائية معقدة ومميزة، حتى إن الكائنات العضوية في واروونا كانت بالفعل لها صلة بالأمر، وأن مزيدًا من بعض السلف البدائي قد عاش طويلًا قبل هذه الفترة.

### ولكن هل تركت حقًا هذه الميكروبات أى أثر لها؟

الفرصة محدودة في العثور على أحفورات صغيرة سليمة لم يسبق مسها في منطقة غرب أستراليا. ومن حسن الحظ أن ثمة طرقًا حاذقة ورقيقة أخرى، حيث استطاعت هذه الأحياء العضوية أن تترك بصمات لها في الصخور: بتبدل أو تغيير التركيبة الكيميائية. وعلى سبيل المثال ما يمكن لوحدة ذات طابع ecosystem<sup>(\*)</sup> في منطقة بحرية ضحلة المياه وذات عمق قليل، أن ترصد ما يمكن أن تكون قد وضعت مواد عضوية في الترسبات الكامنة في القاع، منشئة طبقات من الرواسب الغنية بالكربون، فيما يشبه جبانة للميكروبات. وشيء من هذا، ربما هو الذى حدث في التَشَكُّلات الأشبه بالأصفاد الحديدية في إيسوا Isua بجرينلاند Greenland. حيث كان الرائد في مجال دراسة التكوينات الكربونية لهذه الصخور هو مانفرد

---

(\*) وتمثل إحدى ألوحدة البيئية الموجود بها كائنات حية وتحيطها كائنات غير حية، لقياس ما بينهما من تأثير وتفاعل متبادل، وذلك في بقعة محدودة. (المترجم).



شيدلوسكى **Manfred Schidlowski** من معهد ماكس بلانك للكيمياء بألمانيا، والذي استنتج من هذه الدراسات أن الحياة مُورست منذ حوالى ٣٠ مليون سنة، قبل أن تستقر حفريات بلبارا فى مكانها.

وقد جاء الدليل على الحياة من «إيسوا» عبر قياسات حذرة ودقيقة مع نظائر لها لمعرفة نسب الكربون. وذرة الكربون المعتادة تحتوى على ٦ بروتونات، و٦ نيوترونات، وعلى ذلك فهي تصنف كربون ١٢،  $^{12}\text{C}$ ، بينما بعض الذرات تحتوى على ٧ نيوترونات بدلاً من ستة ولذا يتم تصنيفها: كربون ١٣،  $^{13}\text{C}$ ، ومن الناحية الكيميائية هما متطابقان ويعرفان حالياً على أنهما نظيران. هذا وتفصل الحياة كربون ١٢ لأنه خفيف قليلاً وتفاعله أسرع، وكنتيجة لذلك فإن الحياة تميل لعزل الكربون الأخف، وبذلك تثرى أى ترسبات قد تتدفن فيها. أما الكربون ١٢ فى صخور بلبارا فقد كان أعلى بنسبة ٣٪ درجة، وفى إيسوا فقد كان أعلى بدرجة واحدة.

قاد مؤخراً جوستاف أرهينيوس **Gustaf Arrhenius** من معهد سكربس للأوقيانوغرافيا فى كاليفورنيا **the Scripps institute oceanography in California** فريقاً مزوداً بتقنية عالية لدراسة النظائر الكربونية والنسب بينها فى صخور إيسوا. وبتوظيف الميزة المعروفة والخاصة بمجس متناهى الصغر **micro** قادر على قياس الطيف، استطاع الباحثون تحليل كميات ضعيفة للغاية من الكربون فى حبيبات صغيرة إلى درجة ١٠ مايكرومترات من بين وزن ٢٠ تريليوناً من الجرام، وادّعوا بعثورهم على «توقيع» بما يعنى أثراً أو طبيعة للحياة. وكان قد تم جمع الصخور من جزيرة أكيليا **Akilia**، القريبة من إيسوا وتم نسبتها إلى، على الأقل، تاريخ يرجع إلى ٣,٨٥ بليون سنة سابقة<sup>(٨)</sup>. وهذا التاريخ يمكن مقارنته بعمر الأرض، ٤,٥٥ بليون سنة، والتي تحددت عبر قياسات النشاط الإشعاعى. فإذا ما كانت الحياة قائمة منذ ٣,٨٥ بليون سنة فإن هذا يعنى أن كوكبنا ظل مسكوناً طوال ٨٥٪ من تاريخه.

وربما توصف بحوث الأحافير المسجلة على أنها اقتراب يمثل أعلى ما هو سفلى **top-down** بالنسبة للبحث البيوجيني. وبدءًا بما هو معروف عن الحياة اليوم، فنحن نحاول تتبع الطريق الذي اتبعه التطور بالعودة إلى ماضى الزمان، وهبوطًا فى الحجم بالنسبة لأبسط الكائنات العضوية والآثار الأسبق زمنيًا، إلا أن التسجيلات تتلاشى فى ضباب الغموض. وفى وقت أسبق من ٣,٥ بليون سنة وقد يصل إلى ٣,٨ بليون سنة، قام أول كائن عضوى بسكنى كوكبنا فى مكان ما منه. ولكن أين؟ وماذا كان شكله؟ سوف أبرز هذه الأسئلة عندما أعود لطريق قمة ما هو سفلى فى الفصل السادس ولكن الآن أريد أن أعرج على البديل: الاقتراب لقمة ما هو علوى. والفكرة هنا هى أن نسأل ما الذى نعرفه من أحوال الأرض الشابة ومشارطاتها، وبعدها نحاول أن نبني الوقائع الفيزيائية والكيميائية التى ضغطت الزناد وأشعلت بدء الحياة منذ هذه السنوات التى مضت.

### تلقائية أو عفوية التكاثر:

من المعروف أن العلم يرفض المعجزات، حتى ولو كانت قد وقعت بالفعل. وبالرغم من حقيقة أن الأحياء الجيني يبدو للبعض نوعًا من الإعجاز الفعلى، فإن نقطة البدء فى أى بحث علمى يجب أن تكون افتراض أن الحياة بزغت على نحو طبيعى، من خلال تتابع من عمليات فيزيائية عديدة. وعلى الرغم مما يبدو أقرب لعدم عثورنا مطلقًا على ما يفيد ما الذى وقع بالضبط، فربما نستطيع الاستدلال على طريق كيميائى ظاهر التصديق أو الوثوق به يودى بنا من العمليات الكيميائية البسيطة إلى الحياة. بالطبع ربما هناك طرق عديدة مختلفة للحياة كما نعرفها، وعدة أشكال بديلة لها. ومن المفهوم أن العلماء سيكونون قادرين يومًا ما على إنشاء حياة من نوع ما فى المعامل، هذا يؤكد اقتناعنا بعدم الحاجة إلى معجزات.

ومع ذلك نظرًا لافتقارنا للمعلومات وجهلنا بها حاليًا فإن كل ما نأمل، هو قليل من العلاقات أو الإشارات لمفتاح الخطوات الكيميائية التي قد تكون على صلة بالأمر. وبعض الناس يرون أن مجرد الإشارات أو العلامات تعتبر غير ذات جدوى، وأن الموضوع يعد أكثر عمقًا ومشهدية ليستحق حث المضى فيه. وهذه نظرة أعتبرها ضيقة وقصيرة. ربما ظل البحث في أصل الحياة مفتقدًا معلومات ذات قيمة، حتى في غياب تقدير تفصيلي لكيف بدأت الحياة بالفعل. وبصفة خاصة فربما نكون قادرين على إجابة السؤال عن كيف يشبه أو لا يشبه أن تكون الحياة تلقائية أو عفوية. وإذا ما أصبح ذلك أكثر احتمالية، فإننا نستطيع القول بأن تكون الحياة قد ظهرت في مكان آخر من الكون أيضًا. وعلى الناحية الأخرى فإذا ما كانت الخطوات الكيميائية قد أصبحت غير محتملة الحدوث بدرجة عالية، فسنكون وحدنا في هذا الكون.

وأيًا ما كانت حقيقة العمليات المتتابعة الكيميائية فلا بد أن الحياة تشكلت كنتيجة لنوع ما من التركيب التشابهي الذاتي للجزيئات. ومصطلح التركيب الذاتي هذا *self-assembly* يبدو أنه ينضوي بدوره على حلقة سحرية، ولكنها ملحوظة مألوفة لدرجة الابتذال. ذلك أن المجرات والبلورات تظهر أو تبرز للوجود من خلال التجميع أو التركيب الذاتي، وهذا على سبيل المثال وليس الحصر، وأعني أنهما ينشئان نفسيهما من حالة سابقة مبدئية تتسم باللا نظام وافتقاد السمات. وليس ثمة قوى حاسمة تدير أو تقود محتوياتها إلى الشكل النهائي. وإنما فقط تقوم بذلك عمليات الفيزياء العادية. ولذلك يفترض البيولوجيون أنه يمكن تطبيق ذلك في مجال الحياة حتى ولو كانت أبسط أشكال الحياة، هي بذاتها في غاية التعقيد.

ومعتقد التكاثر التلقائي هذا، له تاريخ طويل يرجع على الأقل إلى أفلاطون *Plato*. وفي القرن السابع عشر ساد الاعتقاد بأن كثيرًا من أنواع الكائنات الحية يمكن أن تتكاثر من جديد في ظل الظروف الملائمة، وعلى سبيل المثال كان يعتقد أن الفئران الناضجة يمكن أن تنشأ من كومة من الملابس الداخلية المتسخة أو القمح<sup>(٩)</sup>.

كما أن هناك وصفات أخرى مفضلة مثل الشرابات القديمة واللحوم المتعفنة والتي تظهر فيها، وبشكل وافر، أنواع من «القمل والهلوم» وأيضًا اليرقات.

واليوم تبدو هذه القصص على درجة من السخف، ولكنها استدعت أن يقوم عالم في مقام لويس باستير **Louis Pasteur** بحسم الأمر. ففي عام ١٨٦٢، وفي مناسبة الاحتفال بجائزة عامة أقام باستير عدة تجارب حذره ليستدل منها على أن الكائنات العضوية لا تأتي إلا عبر كائنات عضوية أسبق. أما الكائن العقيم غير المثمر، هكذا ادعى، فسيظل أبدًا كذلك. وأضاف مفتخرًا<sup>(١٠)</sup> «لن يشفى أبدًا معتقد التكاثر التلقائي أو العفوى من الضربة القاضية التي وجهتها له هذه التجربة البسيطة!».

ومع أهمية هذا الاستعراض للأمر، فإن النتيجة التي توصل إليها باستير وقعت في تناقض مع نظرية دارون عن التطور. مجلده الأشهر وذائع الصيت «أصل الأنواع» **"The Origin of Species"**، والذي نشر قبل ثلاث سنوات من إجراء باستير لتجاربه، ذهب دارون إلى رفض التصديق بالحاجة إلى معجزة لخلق أو إنشاء الأنواع، من خلال إظهار كيف يتحول النوع إلى نوع آخر. ولكن تقديرات دارون تركت الباب مفتوحًا لمشكلة كيف بدأت الحياة في المقام الأول. ومن دون وجود الحياة بشكل دائم، فعلى الأقل هناك نوع واحد والذي كان في البدء فهو إذن لم يجرى من تحوله من نوع أسبق، وإنما فقط بالتحول من مادة غير ذات حياة. وقد كتب<sup>(١١)</sup> دارون بنفسه بعد عدة سنوات «لم ألتق بأي دليل يستحق أن يصادق على الفكرة المسماة: التكاثر التلقائي». وبعدئذ فإنه في غياب الدليل فإن أصل الحياة يكمن في نوع من التكاثر التلقائي. ومع ذلك، فإن نظرية دارون في التطور، وأيضًا نظرية باستير القائلة بأن الحياة تولد من شيء حي بدوره، كليهما لا يمكن وصفهما بأنهما قد كُتبتا بشكل جيد.

دارون نفسه كان إلى حد ما يضع مسألة أصل الحياة هذه في درجة متساوية مع بحثه في التطور (انظر الاقتباس في مستهل هذا الفصل)، ولكنه أعطانا بذرة



هذه الفكرة فيما كتبه عبر رسالة شهيرة تخيل فيها<sup>(١٢)</sup> بركة صغيرة دافئة تحتوى على كل أنواع الأمونيا ammonia، والأملاح الفوسفورية phosphoric salts، والضوء، والحرارة، والكهرباء... إلخ، وربط بين هذه البركة وعملية التخمير التى تكون قد وقعت، وعبر فترات هائلة من الزمن، فربما تكون الحياة قد تشكلت من عمليات كيميائية معقدة. ونتيجة هذه المناظرات تأجل التفكير في هذا المنحى من الموضوع لقرن نال من الزمان.

فى ذلك الوقت تعرضت فكرة بزوغ الحياة تلقائياً من خليط كيميائى غير حى لنقد عنيف من قبل الثيولوجيين، وحتى من قبل بعض الفيزيائيين، حتى إن الإنجليزي البارز لورد كيلفن Lord Kelvin استبعد الفكرة كلها<sup>(١٣)</sup>. «باعتبارها تأملاً قديماً» وعبر عن رأيه: «أن العلم قد قدم لنا كمية هائلة من الأدلة الاستدلالية، والتى تقف ضد هذه القضية». ومعلناً رأيه - من دون أى لبس أو محتوى له معنيان - «بأن المادة غير الحية لا يمكن أن تصبح حية، دون الخضوع لتأثير مادة حية أسبق منها». وهذا لا يدع لنا سوى خيارين، إما أن الحياة كانت دائمة الوجود، وإما أن ظهورها كانت وراءه معجزة.

ولم يتغير الأمر إلا قليلاً، حتى جاءت العشرينيات من القرن الماضى ومن خلال أعمال ألكسندر أوبارين Alexander Oparin فى روسيا، و ج.ب.س هالدين "J.B.S. Haldane" فى إنجلترا، إذ استطاع كلاهما أن يميزا أن من السذاجة أن نقترح نشوء الحياة فجأة عبر عملية واحدة ومنفردة كرد فعل مدهش لها. ولقد أخذنا مفتاح الفكرة من داروين، بافتراضهما أن الأمر قد استغرق فترة تطور طويلة اقتضت تتابعاً لعمليات كيميائية متدرجة أدت لظهور أول ميكروب وأثناء هذه المرحلة القبل بيولوجية، فإن شيئاً تحديداً قد حول بنجاح خليط من الجزيئات إلى تركيب أكثر فأكثر تعقيداً كرد فعل، حتى حدث فى النهاية نشوء السمات الأساسية لكائن عضوى حى.

وفضلاً عن «بركة» دارون الصغيرة، فقد تصور هالدين كل محيطات الأرض كإطار للأحداث، حيث تقوم الأمطار بتبليد المسطحات القاحلة، والتي بالتالي تغسل كل ما هو كيميائي الأسلوب دافعة به إلى البحر، ليتركز هناك حتى إننى سأستخدم العبارة التي صرح بها هالدين: «أن يصل السائل إلى حالة (شورية) مخففة بالماء ومتماسكة». وقد أمسك الآخرون عليه هذه العبارة وصكوها في عبارة «الشورية الأصلية أو الابتدائية» **"the primordial soup"** منذ ذلك الحين.

وتعددت التنوعات عبر السنين التي ناقشت ماذا وأين كانت هذه «الشورية». هل كان المحيط هو المعنى، أو مجرد بركة كما اعتقد دارون؟ هل كان كهفاً مستتراً أو كان نفقاً تحت سطح الأرض؟ وماذا عن نبع ماء حار لدرجة الغليان أو فتحة بركان تحت قاع البحر؟ أو قطرات صغيرة من الماء احتجزها الهواء وتركها معلقة؟ ربما أيضاً لم تكن «الشورية» في أى موقع على الأرض إطلاقاً، وتولدت داخل مذنب أو كوكب صغير. كل هذه الأفكار تم اقتراحها بجدية وظل أغلبها كوسيلة ربط محضة. ورغم أن هذه الآراء تختلف كلية عن بعضها البعض، فإنها تتشارك في أمر واحد، فهي جميعاً تتطلب سائلاً مائياً ومزينا بجواهر ملائمة فعلية، وانكشف أو تعرض لمصدر طاقة، ليقود ردود الفعل أو التفاعلات الكيميائية إلى الأمام.

وكان لهالدين وأوبارين رأى مختلف عن التتابع الحقيقي للأحداث، ويطوق عملية الانقسام في الموضوع، والذي ظل باقياً حتى اليوم. وحيث يتعلق الأمر بمدى المعلوماتية لدى الخلايا. كل الكائنات العضوية المتناهية الصغر تكون منفصلة عما يحيطها بغشاء (حيوانى أو نباتى) أشبه بالحائط الحافظ للخلية، إذ سيكون بالطبع من الصعب تخيل حياة من دون أسوار محيطة من نوع ما. والسؤال هو أين برز هذا البناء الخلوى: قبل أو أثناء أو بعد الخطوات الكيميائية المبدئية؟

بينما ركز هالدين الضوء على كيميائية «الشورية»، كان أوبارين أول من نادى بالخلية. وكان متأثراً أو لديه انطباع بأن العناصر الزيتية لا تختلط بالماء،

وأحياناً ما ينتج عن الخليط نوع من المادة العالقة تعرف بشكلها المكافئ للشكل العنقودي *coacervate*، وحيث يطفو الزيت متجمعاً في قطرات رفيعة وصغيرة. هذه «الفقايع» الزيتية تشبه من حيث مظهرها الخارجى الخلايا البيولوجية. لقد افترضت نظرية أوبارين أن البناء الفيزيائى للخلايا لا بد أنه جاء أولاً، وزوّد بوعاء خاوٍ، تستطيع فيه الجزيئات أن تستمر في أعاجيبها. وهذه الفكرة لها قدر من الجاذبية لأن هناك كثيراً من العمليات الفيزيائية (ليس فقط الزيت في الماء)، والتي تنتج عنها حويصلات أو بثرات من نوع ما. وأيضاً فالخلايا السائلة أو النقاط أو القطرات يمكن أن تصبح غير مستقرة وتتشرط إلى اثنتين، منتجة شكلاً بدائياً من إعادة الإنتاج. ولو أن حقبة مملوءة بالعناصر الكيميائية تضخمت، ثم انشطرت إلى أجزاء، فإن كل «ابنة» للحقبة الأصلية سوف ترث الخليط الكيماوى لتلك الحقبة. وقد يكون هذا كافياً لعمل نوع بدائى من الاختيار الطبيعى، ومهما كان الغشاء الحيوانى أو النباتى، فإنه يحتاج لأن يكون لديه بعض من الخصائص المميزة قبل أن تحبس الجزيئات المؤازرة للحياة داخل الخلية، ولكن تسمح بأن تمر إليها المواد الأولية التى تحتاج إليها من خارج الخلية.

إن فكرة أوبارين بشأن تأصيل أو تجذر أصل الحياة فى شكل الخلايا، تعكس جزئياً حالة المعرفة فى تلك الأيام، لأن العلماء فى ذلك الوقت كانوا لا يزالون يناضلون فى حل مسألة عمليات الأيض، والدور الذى يلعبه البروتين فى الخلية، بينما لم تكن لديهم أى فكرة ولو ضبابية عن طبيعة الجينات، حيث لم تكن معرفة البيولوجيا الجزيئية وتركيب الدنا قد قامت وقتئذ. ربما من الطبيعى أن يؤكد أوبارين الوجه الجينى للحياة، وأن يتوجه اهتمامه للهيئة الفيزيائية التى عليها الخلايا - شكلها وبنائها - والتى كانت مفهومة له على نحو أفضل. وهذا لا يجعل النظرية الأولى للخلية خاطئة، ولكنه فقط يندرنا بأننا عندما نضع ما نعرفه فى مركز الاهتمام دون سائر المعلومات الواجب البحث عنها، فإن ذلك يشبه مخاطرة وضع العربة أمام الحصان.

وقد أصبح التنظير في مجال أصل الحياة يحتل المشهد كله في عشرينيات القرن الماضي، حيث أعطى البعض الأهمية الواجبة لأفكار كل من أوبارين وهالدين. وحيث قام أحد الكيميائيين الأمريكيين هارولد أوراي «Harold Urey» والذي كان مقدرًا له الحصول على جائزة نوبل في أحد الأيام لاكتشافه الهيدروجين الثقيل «deuterium»، حيث لاحظ أنه قد يكون ممكنًا اختبار النظرية القائلة بـ «الشوربة المبدئية» في المعمل. وبعدها بعدة سنوات. وبالتحديد في عام ١٩٥٣ قام بهذه التجربة الاختبارية بالفعل.

#### إعادة إنشاء «الشوربة» البدائية أو الأصلية:

كانت تجربة أوراي المحتقن بها خلاصة من حيث بساطة مفهومها. لقد فكر في توفير الظروف التي تصوّر أنها كانت سائدة في كوكب الأرض البدائي، ومراقبة ما سوف يحدث. لقد كان عليه أن يخمن ما كانت عليه الأرض منذ بلايين السنين. معتبرًا أن وجود الماء السائل هو بمثابة رهان عادل، ولكن تركيبة الجو لم تكن معلومة له. ولتقرير أي من الغازات الواجب استخدامها، اقترح أوراي بأن جو الأرض حاليًا لا بد أنه تعرض للتحسن الهائل بفعل الحياة وبسببها، وبصفة خاصة فإن احتواء الجو الأكسوجين، يرجع لعملية التمثيل الضوئي في النبات. وهكذا استبعد الأكسوجين. وبالفعل كان هذا اختيارًا عاقلًا. ومع أن الناس جعلت للأكسوجين دورًا مساهمًا في الحياة، فهو فعليًا عنصر خطر يدفع الحياة للتآكل بمعنى أنه يَحْتَفِ فيها، وبالتالي يمثل تهديدًا لمعظم الجزيئات العضوية وقادر على تحطيمها بسرعة (ولا بد أن يعرف ذلك أي مُشعل لحريق). إذا ما كان طور الحياة قبل العضوية، كان كما تصوّره كل من هالدين وأوبارين فلا بد أن الأجواء كانت خالية من الأكسوجين الحر. وبناء على كل ذلك قرر أوراي أن يستخدم خلطة من الميثان «methane» (غاز المستنقعات والمناجم) والهيدروجين «hydrogen» والأمونيا ammonia.



ولمساعده في التجربة وظّف أوراي طالبًا شابًا ذكيا يدعى ستانلي ميللر Stanley Miller كان يتلقى العلم في جامعة شيكاغو. وقد بدأ عمله بأن ملأ قارورة بالغازات المختارة، بالإضافة لقليل من الماء وأحكم إغلاقها ومرر فيها شرارة كهربائية لنشبه تأثيرات الضوء على العملية، وخلال الأسبوع الذي تلى ذلك عمّد إلى مراقبة الأمر، واندعش لملاحظته أن دورة الماء داخل القارورة تحولت تدريجيًا إلى اللون البني - المشوب بالأحمر "reddish brown". وكان ميللر فخورًا مبتهجًا حين صرح: «فيما يبدو أن هذه التجربة البسيطة قد نجحت في إنتاج ما يشبه الشورية البدائية». وعكف على تحليل السائل وبالتأكيد وجد أنه يحتوي على عدد من العضويّات الكيماوية المعروفة بالحامض الأميني amino acid. وهو ما يمثل أحجار بناء البروتين، ويعتبر من العناصر التي لها قيمة فيما يتعلق بكل الحياة الأرضية.

أستقبلت نتائج ميللر بحرارة بالغة باعتبارها الخطوات الأولى على طريق إنشاء الحياة في «قارورة اختبار»، ولقد كان معقولاً أن ينتج الحامض الأميني في أسبوع، ولك أن تتخيل ما يمكن أن يحدث لو أن التجربة استغرقت وقتاً أطول. ربما ببساطة تكون مسألة وقت قبل أن يبدأ كائن حي في الزحف من وسط هذا الحساء ذي اللون البني المائل للإحمرار. والخلاصة التي انتهى إليها كثير من العلماء هي أن إنشاء الحياة لا يحتاج إلا قليلاً من الكيماويات العادية، فضلاً عن مصدر للطاقة.

وأخيراً، فإن النشاط الذي أحاط بتجربة ميللر/أوراي استحال إلى اعتبارها تجربة مبتسرة، وذلك لعدة أسباب متنوعة. ففي رأي الجيولوجيين أن الجو وقت البداية لا يماثل المزيج الذي لجأت إليه التجربة في قارورة ميللر. إذ من المحتمل أن الأرض اختلف جوها عدة مرات خلال البليون سنة الأولى من عمرها، وليس متصورًا أن الميثان والأمونيا قد توفرا كثيرًا في هذه الأثناء. ولو أن الأرض حازت في جوها «هيدروجين» بشكل حقيقي، فهو لم يدم طويلاً، وباعتباره من

أخف العناصر، فكان لا بد له أن يتطاير في الفضاء، ولقد اختار أوراي هذه العناصر لأنها جميعًا تحتوى على الهيدروجين. والكيميائيون يسمون هذه الغازات مختزلة **reducing**، أو تعمل على مبدأ «الإنقاص» وهو المضاد «للأكسدة» **oxidation**، ولأن كل العضويات غنية بالهيدروجين، فإن جواً متحولاً في اتجاه الإنقاص يكون لازماً لإنتاجها. ومع أن التخمين السائد للجو الباكر للأرض هو أنه ليس مختزلاً ولا مؤكسداً أيضاً، بل إنه كان خليطاً طبيعياً من ثنائي أكسيد الكربون **carbon dioxide** والنيتروجين. وهذه الغازات لا تُمنح أو تُعطى الحامض الأميني بسهولة أو بسرعة.

والسبب الثاني في إلقاء نوع من الشك حول معنى تجربة ميللر/ أوراي يتمثل في أن الحامض الأميني في الحقيقة، ليس من الصعب إنتاجه أو صنعه. وثمة تجارب متنوعة ناجحة تم القيام بها حيث استبدلت الشرارة بأتون متأرجح، أو مصباح أشعة فوق البنفسجية، أو غازات صادمة أو خليط كيماوى مشحون بالطاقة. وعليه فقد أصبح صنع الحامض الأميني من الأمور العادية وهو في الواقع يحدث طبيعياً في الشهب وحتى في الفضاء الخارجي.

هناك أيضاً سبب مبدئي حول لماذا لم تعد تجربة ميللر / أوراي تستحق ما كان لها يوماً ما؟ حيث من الخطأ الحقيقي أن ننظر للطريق إلى الحياة وكأنه يأخذ هيئة الطريق السريع **highway**، بحيث يؤدي بمرور الزمن مباشرة إلى «حساء كيماوى». ربما تكون الأحماض الأمينية بمثابة أحجار البناء للبروتين ولكن ثمة عالماً كاملاً من الفروق بين أحجار البناء وبناء مركب. لأن مجرد اكتشاف كومة من الأحجار لا يضمن أن هناك مبنى خلف الناصبة، وعليه فإن مجموعة من الأحماض الأمينية أمامها طريق طويل جداً، بعيداً عن الجزيئات الكبيرة والمتخصصة مثل البروتينات التي تتطلبها الحياة.

وثمة عائقان كبيران يقفان في طريق التقدم إلى الحياة في «حساء بدائي». واحد منها أنه في معظم السيناريوهات يبدو الحساء مخففاً لدرجة كبيرة لا يتسنى له

معها أن ينتج لنا الكثير . محيط هالدين الواسع من الحساء سيكون مخففاً للغاية، بحيث لن يتسنى له جمع المكونات الصحيحة في نفس المكان وفي وقت واحد ومن دون بعض الآلية لتركيز شديد في الكيمائيات، فإن تخليق للجوهريات المعقدة يصبح من قبيل الآمال البعيدة، وثمة مقترحات تنسب للخيال قُدمت في مجال تكثيف أو زيادة ثخانة السائل المخمر، فمثلاً بركة دارون ربما تتبخر وتتصاعد أبخرتها إلى الفضاء، تاركة نفاية أو زبداً ذا كثافة كافية. أو ربما تستطيع السطوح المعدنية مثل «الطين» أو «الصلصال» أو «الوحل» أن تحصر الكيماويات المارة عليها في شكل سائل متوسط الكثافة وتقوم هذه السطوح بتركيزها. ومع ذلك، فإنه ليس واضحاً تماماً إذا ما كان أى من هذه الاقتراحات يمثل الواقع إزاء الحياة الفعلية على الأرض في بواكيرها. كما أننا لم نصادف حالة أشبه بالمرقة أو الحساء احتفظت بها الصخور لتكون هادياً لنا في طريقنا الوعرة.

أما العائق الثانى فهو أكثر عمقاً ويعود بنا إلى القانون الثانى للديناميكا الحرارية. ولتستعد في ذهنك كيف يصف هذا القانون الميل الطبيعى للفناء أو التلاشى التدريجى، وللفساد، والابتعاد عن نشر النظام والتعقيد وثم: فإن تركيب أو اصطناع جزيئات بيولوجية «تسبح ضد التيار»، من زاوية الحديث بمفهوم الديناميكا الحرارية، ولأول وهلة يبدو أن هذا يؤدي إلى تناقض. والحقيقة أنه لا صراع أو تضاد مع القانون الثانى ذاك. وكما شرحت في الفصل الثانى، فإن النظام قد يظهر في مكان، مادامت توجد كميات أكبر من اللا نظام، أو الأنطروبيا في البيئة المحيطة. وهذا هو ما يحدث عندما تتشكل بللورة أو كريستالة خلال السائل المذاب، لأن الكريستال الصلب هو ترتيب نظامى للذرات على غير الحال في ذات السائل، وعلى ذلك فهو (الكريستال) لديه أنطروبيا أقل. ومع ذلك، فإن تشكل الكريستال يصاحبه تحرير للحرارة التى تتبعث في البيئة وهو ما يؤدي إلى مزيد من الأنطروبيا. وهكذا فإن الحقيقة الثانية تفوق الأولى وزناً وقيمة. وهذا ما يحدث بالنسبة لتركيب الحامض الأمينى، فإن تركيبه مفضل في مفهوم الديناميكا



الحرارية. والسبب في ذلك يتعلق بقاعدة الطاقة. إذا تسببت عملية ما في تخفيض الطاقة في نظام معين، أى لو ذهبت إلى «أسفل التل» ستكون محل مباركة القانون الثانى، أما بالقياس لو صعدت إلى «أعلى التل»، ففي هذه الحالة تكون متحديّة للقانون الثانى. المياه تجرى إلى أسفل التل، ولا تصعد إلى قمته. وقد يمكنك أن تجعل المياه تصعد إلى القمة، ولكنه فقط ببذل الجهد من أجل ذلك. وأى عملية تجرى بطريقة تلقائية تكون دائماً بمثابة الهابطة إلى «أسفل التل». وإنتاج الحامض الأمينى له سمة «الهبوط لأسفل التل»، وهذا ما يجعل من السهل جداً صنعه.

الآن قد وضعنا يدينا على عقبة خفية: الخطوة الثانية في الطريق للحياة أو على الأقل الطريق إلى البروتين، هى قيام الحامض الأمينى بالارتباط مع نظائره لصنع جزيء يعرف باسم الـ «بيبتايد» peptide والبروتين ليس إلا سلسلة طويلة من البيبتايدات أو متعدد البيبتايد polypeptide. وحيث إن التشكل التلقائى للحامض الأمينى من خليط كيماوى غير عضوى هو عملية مسموح بها من زاوية الهبوط «أسفل التل»، أما مضاعفة الحامض الأمينى لتشكيل بيبتايد هى من قبيل عمليات الصعود «لأعلى التل» أى أنها من وجهة نظر الديناميكا الحرارية تتجه إلى الطريق الخطأ. وكل بيبتايد مرتبط بوثاق يتمثل فى احتياجه لجزيء مياه، لكى ينتزع من السلسلة. وفى وسط مائى مثل الحساء أو الشوربة البدائية. فإن هذا لا تفضله قواعد الديناميكا الحرارية. ويترتب على ذلك أن الأمر لن يحدث بصفة عفوية ولا بد لجهد أن يبذل لإكراه جزيء المياه (المستخلص) عبر الوسط المائى المستقر، ومن الواضح أن تشكل البيبتايد، ليس مستحيلاً، لأنه يحدث داخل الكائن العضوى. ولكن هناك رد فعل «أعلى التل» المدفوع إلى أمام باستخدام جزيئات مصنعة حسب الحاجة دون أن يتم شحنها بالطاقة اللازمة للعمل الضرورى. وفى «حساء» كيميائى بسيط، ليست ثمة جزيئات متخصصة فى تناول اليد، لتدعم ردود الفعل دعماً هى محتاجة إليه. وبالتالي، فإن الحساء المائى يعتبر وصفاً لعدم تركيب الجزيئات وليس التركيب الذاتى لها<sup>(١٤)</sup>.



ولنتأكد أنه سيكون هناك نقص في مصادر الطاقة المتاحة على الأرض في بواكيرها، وهي الطاقة المتطلبية لإجبار سلاسل البيبتايد على التشكل، ولكن إلقاء تبعه المشكلة على الطاقة ليس حلاً. فنفس مصادر الطاقة التي ستحدث الجزيئات العضوية، هي أيضاً التي ستخدم في تحطيمها وإهلاكها. ولكي تعمل بشكل متعاقب ومترايط منطقياً، فإن الطاقة المستهدفة يجب أن تكون على قدر رد الفعل المطلوب. وعند إدخال طاقة غير متحكم فيها، مثل طاقة التسخين البسيط، فيبدو أنها ستميل للتخبط والإهلاك أكثر من اتجاهها للتعاقب والترابط المنطقي. وهذه الحالة يمكن مقارنتها بعامل بناء مجتهد، باذلاً أقصى جهده في بناء عمود أو نصب تذكاري، واضعاً كل طوبة فوق سابقتها. وكلما ارتفع العمود عالياً كان معرضاً لحالة من التمايل ومن ثم الانهيار. ومثل هذا بالضبط، فإن السلاسل الطويلة من الحامض الأميني، المرتبطة ببعضها تكون هشة وقابلة للفصل. وكقاعدة عامة إذا قمت بتسخين أو زيادة الحرارة لكائن عضوي فإنك شئت أم أبيت *willy-nilly*، فسوف ينتهي بك الأمر ليس بسلسلة طويلة ولطيفة من الجزيئات، ولكن بكومة من الجزيئات ملخبطة متلكئة ومتوانية كما يشهد لك صاحب حفلة الشواء!

ومن الصحيح أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ليس إلا قانوناً إحصائياً، لا يمنع الأنظمة الفيزيائية من الذهاب للاتجاه الخطأ (مثل الصعود لقمة التل)، لكنه يرجح الذهاب في الاتجاه الصحيح. وعلى سبيل المثال فإنه من الممكن، بل هو قريب من الحدوث، أن تبنى عموداً من الطوب، بأن تجعل له طرفاً مستدقاً، من الطوب، أيضاً بأن تتقى مجموعة من الطوب لعمل هذه القمة المستدقة، ولا تتدهش إذا انتهت بطوبتين مستقرتين بشكل جيد على واحدة، ولو ثلاث طوبيات، سيكون أمراً مشهوداً، ولكن لو عشر طوبيات فسيكون الأمر أقرب للمعجزة. وبلا شك ستضطر للانتظار وقتاً طويلاً، لكي يتحقق صف من الطوبيات العشر بشكل عفوى. أما في حالة رد الفعل الكيماوى العادى الذى يقع بالقرب من حالة الاتزان الحرارى، فإن الجزيئات تهتز بشكل عشوائى، وهكذا ستكون مضطراً للانتظار

وقتاً طويلاً، لكن يتم تشكيل سلسلة هشة من الجزيئات. وكلما طالت السلسلة، طالت مدة الانتظار. وقد تم تقدير المسألة بأنه بعيداً عن المزايا الذاتية له، فإن حلاً مركزاً من الحامض الأميني سوف يحتاج قدرًا من السائل بحجم الكون المنظور حولنا، لكي يمكنه أن يذهب في اتجاه مضاد للمد الحراري. وينشئ قدرًا ضئيلاً من متعدد البيبتيدات بشكل عشوائي. ومن الواضح إذن أن الجزيئات العشوائية المراوغة ستكون ذات نفع ضئيل، عندما يشير سهم الاتجاه إلى الطريق الخطأ.

وثمة مهرب وحيد ممكن من الطريق الضيق المتعلق بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، وهو يتمثل في مغادرة حالة الاتزان ومشارطاتها الخاصة به. وكان البيوكيميائي الأمريكي سيدني فوكس "Sidney Fox" قد قام ببحث ما الذي يحدث، حين يتم تسخين خليط من الحامض الأميني بشدة، وبدفع الماء بعيداً كبخار، فإن الوصلات بين الحامض الأميني المكونة لسلاسل البيبتيدات سوف تصبح أكثر تشابهاً. والطاقة الحرارية المتدفقة سوف ترفع الأنطروبيا الضرورية للانصياع للقانون الثاني. وبهذا الشكل أنتج فوكس بعض السلاسل الطويلة من متعدد البيبتيدات، والتي اصطلح على تسميتها بروتينويد (أشباه البروتينات) **proteinoids**، ولسوء الحظ، فإن التشابه بين بروتينويدات فوكس والبروتين الحقيقي سيكون مخادعاً، لأن البروتين الحقيقي يتكون بصفة خاصة من الحامض الأميني المتعلق باليسار (راجع الصفحات الأولى من هذا الفصل)، بينما أشباه البروتين المنتج بمعرفة فوكس، فتتكون من خليط متعادل من الحامض الأميني المتعلق باليسار واليمين معاً.

وهناك أيضاً سبب أساسي، لكي يبدو التشابه العشوائي الذاتي للبروتين، وكأن ليس له شرارة بدء. وهذا ليس له علاقة بتشكيل السلاسل الكيماوية على النحو السالف، ولكن بالنظام الخاص الذي يرتبط به الحامض الأميني مع بعضه. فالبروتين لا يحتوى على أى سلاسل بيبتيدات قديمة، إنها تعاقبات خاصة جداً من الحامض الأميني، التي لها خواص كيميائية متخصصة، والتي تتطلبها الحياة. ومع

أن عدد البدائل المتاحة للتغيرات الأساسية في خليط من الحامض الأميني هو عدد فلكى. فإن جزءًا صغيرًا من البروتين يحتوى على ١٠٠ حامض أميني يوجد ٢٠ نوعًا منه، نحن إذن أمام ١٠<sup>١٢٠</sup> (والذى يعنى واحدًا متبوعًا بـ ١٣٠ صفرًا) من الترتيبات المختلفة للحامض الأميني في جزيء بهذا الطول<sup>(١٥)</sup>. والاصطدام بواحد صحيح منها، بالمصادفة، لن يكون متاحًا<sup>(١٦)</sup> ولو تم، لكان من قبيل الأشياء الفذة.

إن العثور على هيئة أو شكل مناسب للحامض الأميني من بين الاسكويليون squillions<sup>(\*)</sup> من التشكيلات المتاحة، يمكن التفكير فيه كمعضلة في حجم حيوان الماموث (المنقرض والذى كان شبيهًا بالفيل) يماثله تعقب موقع في الإنترنت دون ماكينة بحث. وهذه الصعوبة يمكن التعبير عنها بمصطلحات الديناميكا الحرارية باسترجاع العلاقة بين المعلومات والأنطروبيا، والتي سبق شرحها في الفصل السابق: المحتوى المعلوماتي العالى المخصص للبروتين والمُمَثَّل في التابع الخاص جدًا للحامض الأميني، يحتاج إلى تراجع كبير في الأنطروبيا أثناء تشكيل الجزيء. ومرة أخرى، فإن مجرد الحقن غير المسيطر عليه أو متحكم فيه بالطاقة لن ينجز النتيجة المنظمة التى نحتاج إليها. وبالعودة للمشابهة التى أجريناها بحالة بناء طبقات من الطوب، فإن صنع البروتين ببساطة بفتح طاقة تشبه تفجيرًا تجريه تحت كومة من الطوب، متوقعًا أن ينتظم الناتج فى شكل بيت. ربما يمكن تحرير طاقة تكفى لترفع الطوب، ولكن دون أن تقترن الطاقة مع الطوب بطريقة مسيطر عليها ومنظمة، فلن يكون هناك سوى أمل ضعيف فى إنتاج أى شىء سوى اللخبطة العشوائية. وهكذا، فإن صنع البروتين برجرجة الحامض الأميني عشوائيًا، سوف يؤدي بنا بتعبيرات الديناميكا الحرارية إلى مضاعفة المشاكل أو المتاعب. ليس فقط هزهزة الجزيء للاتجاه «صعودًا لقمة التل»، بل تجب هزهزته فى اتجاه شكل شريحة متناهية الصغر من العدد الكلى للخلطات الممكنة.

---

(\*) squillions اسكويليون هى مرادفة لكلمات شبيهة مثل زليون وغيرها مما ينتهى بحروف (يون) فإنها جميعًا تستخدم للتعبير عن رقم لا نهائى، لا ترجى منه فائدة.

حتى الآن كنت أتكلم عن صنع البروتينات عن طريق وصلات الحامض الأمينى فى شكل بيبتايدات. ولكن البروتين هو جزء صغير من النسيج المعقد الصعب فهمه للحياة. هناك الليبيدات lipids<sup>(\*)</sup> والحامض النووى nucleic acids والريبوسومات ribosomes<sup>(\*\*)</sup>... إلخ. وهنا نكون قد أصبنا نقطة أخرى أو عقبة خفية. حيث من الممكن أن يستخدم العلماء تجارب معملية تتميز بالأناقة والتعقيد فى إجراءاتها، متوصلين من خلالها إلى تركيب الجزء ذى الشأن فى عملية الحياة بشكل تدريجى، الجزء الذى به نستطيع أن نقوم المسألة. لكن الأقل احتمالاً هو أن نفس مجموعة الإجراءات المتطلّبة لإيجاد كل الأجزاء التى نريدها فى الوقت نفسه. وهذا لا يعنى فقط، أن هناك سرّاً حول التركيب أو التجميع الذاتى من بين قطع كبيرة العدد من الجزيئات ذات البناءات المتخصصة والرقيقة السمات، من بين قطع متناحرة صاخبة، فهناك أيضاً إنتاج، وبالتزامن، مجموعة من نوعيات كثيرة مختلفة من الجزيئات.

ودعنى ألفتها بوضوح: ما الذى يتعلق به الأمر هنا. لقد أكدت بالفعل أن الجزيئات المعقدة التى نجدها فى الكائن العضوى ليست حية بذاتها. الجزيء هو الجزيء، إنه ليس حياً ولا ميتاً. الحياة ظاهرة يشترك فيها مجتمع كامل من الجزيئات المتخصصة، بل ملايين منها تتعاون معاً بطرق جديدة ومدهشة. ولا يحمل جزيء وحده شرارة الحياة، ولا يمكن لسلسلة من الذرات أن تنشئ كائناً حياً. حتى الدنا، هذا الجزيء العضوى الفائق، فهو ليس حياً، انتزع الدنا من أى خلية وسوف تجدها غير قابلة للقيام بدورها المعتاد. فقط فى مجرى بيئة جزيء على

---

(\*) وهى مجموعة من المركبات المتجانسة التى تتألف من حموض دسم طبيعى وشموع وستيروئيدات ولا يمكن حلها بالماء، وإنما فقط بالمحاليل غير المستقطبة، كما أنها مصدر للطاقة وسهلة الاختزان، وتقوم بوظائف عديدة فى البدن.

(\*\*) أحد المستعصيات فى الخلية الحية، وتصنع خلاله البروتينات بحوالى ٥٢ سلسلة بروتينية وثلاثة جزيئات من الدنا الريبى، التى تستسخ مباشرة من الدنا. (المترجم).



درجة عالية من التخصص سيستطيع الجزىء المعين أن يقوم بدوره فى الحياة، أى أنه لن يستطيع من دون هذه البيئة أو المحيط. ولكى تتم الوظيفة بشكل صحيح فلا بد لدينا أن تكون جزءًا من فريق كبير، الذى يقوم فيه كل جزىء بإنجاز دوره المحدد الهدف فى تعاون تام مع جزيئات الأجزاء الأخرى.

إن معرفة جدارة محتوى الجزيئات فى العضو الحى بالاعتماد عليها والوثوق فيها تضعنا على الفور أمام متاهة فلسفية شديدة. إذا كان كل شىء يرغب فى كل شىء آخر، فكيف ظهر مجتمع الجزيئات فى المقام الأول؟ ولأن الجزيئات فى معظمها، والتى تحتاجها الحياة ولا تقوم من دونها، يتم إنتاجها بمعرفة نظام عضوى حى، ولا يوجد منها ما هو خارج الخلية فكيف جاءت للوجود أصلاً، دون مساعدة من علماء متطفلين يتدخلون فيما لا يعنيههم؟ هل نتوقع بشكل جدى، حساء من النوع الذى اقترحته تجربة ميللر / أوراي لكى تصنعهم فوراً مع معرفتنا بأن طبيعة الكيمياء تصيب مرة وتخطئ أخرى "hit – and – miss" ؟.

ربما اعتراك انطباع مما كتبتّه حتى الآن بأن أصل الحياة ليس فقط غير ممكن أو مستحيلاً من الناحية الفعلية الواقعية، ولكن الحياة نفسها مستحيلة أيضاً. ولو أن الجزيئات العضوية الهشة تعرضت للهجوم وتبعثرت بشكل مستمر، فإن أبداننا ستتجه بسرعة للتحلل عبر عمليات كيميائية تنتشر التشوه والموت؟ ولكن لحسن الحظ، فإن خلايانا تحتوى على إصلاح كيماوى مميز وآلية للبناء، ومصادر كيماوية جاهزة للطاقة، لكى تدفع بالعمليات لـ «الصعود» إلى قمة التل، وإنزيمات لها مميزات خاصة تتمكن بواسطتها من نعومة تركيب الجزيئات المعقدة من بين شرائحها. وأيضاً ينشئ البروتين فى شكل كرات للحماية تمنع مهاجمة الماء لرباطها الكيماوى الرقيق. وفى حدود السرعة التى يسحبنا بها القانون الثانى إلى «أسفل التل» فإن هذا الجيش المتعاون من الجزيئات المتخصصة يشدنا إلى الاتجاه العكسى أى إلى «قمة التل». وما دما نظل نظاماً مفتوحاً، نتبادل الطاقة والأنطروبيا مع بيئتنا، فإنه يمكننا تجنب النتائج المدمرة للقانون الثانى. ولكن يبقى

«الحساء» البدائي مفتقدًا هذه «الكتائب الملائمة» من الكيماويات المتعاونة. وليس ثمة حِزْم من جزيئات الإصلاح جاهزة لتطبيق القانون الثانى. إذن على هذا «الحساء» أن ينتصر فى المعركة وحده ضد العناصر الشاذة والتى ليست فقط ثقيلة، وإنما أيضًا ضخمة ومُغَيِّبة العقل.

كيف إذن تكون الإجابة؟ هل الحياة بعد كل شيء معجزة؟، فى الفصل الرابع سوف أهتم بالمحاولات الأخيرة لشرح كيف لخليط كيماوى يمكنه بكفاءة إنقاص الشواذ المتراكمة، والتى تشكل عقبة ضد التركيب أو التآلف العفوى للجزيئات المعقدة. ولكنى أُرغب هنا فى تسجيل نقطة عامة. كانت أول الأشياء الحية ومن دون شك، بعيدة فى بدائيتها عن الميكروبات المعروفة اليوم. فأنت لا تستطيع النظر إلى باكتيريا باقية على قيد الحياة، بقنواتها الدقيقة ونظامها الأيضى المتميز، ثم تتوقع أن كل محتوياتها قد صنعت وجمعت عبر تشكيلها الأولى من «الحساء» البدائي. ميكروبات اليوم ظهرت فقط بالتدرج بعد فترة طويلة من التصويبات التطورية للخشونة التى كانت عليها فى حالتها الأولى. لقد كانت الحياة المبكرة، مُوحلة ومتسخة بيوكيماويًا، مما عليه الكائن العضوى اليوم.

وهذا يؤطر لنا مبدأ مهمًا وعامًا: الماكينات البدائية والفجة تكون أشد صلابة من الماكينات المتميزة والرفيعة. وكلما ازدادت رقة الماكينة، أصبحت مكوناتها قابلة للعطب، وقلَّت حصانتها. حاول أن تسكب زيتًا خامًا فى خزان سيارة سباق دقيقة القنوات، ستجد أنه سرعان ما ستصدر عنها أصوات اضطراب، وبعدها تتحول إلى أداة عديمة الكفاءة. قارن ذلك العمل نفسه مع جرّار، فستجد أنه يستطيع الاستمرار فى وظيفته برضا تام. ويمكن بالحديث نفسه إذا أسقطت جزيء دنا فى «الحساء» البدائي فسوف يصبح عاجزًا عن أن شيء ولكن سلفًا أقل تصويبًا من الدنا ربما يكون صالحًا أكثر ويمكنه التكاثر بنجاح. ويبدو أن الحياة قد بدأت كعملية متداعية للسقوط، ثم صوبت وسارت فى خطها الذى نعرفه بمرور الزمن. وربما كان من غير الممكن تحطيمها. الشواذ من الميكروبات التى تضائت مع التركيب الذاتى، والتى لها خشونة وفجاجة الجرار.

## المصادفة وأصل الحياة:

أسأل السؤال البسيط: وقد أُعطيت المشارطات التى كانت سائدة على الأرض منذ أربعة بلايين سنة مضت، هل كان محتملاً ما كان عليه من ظهور الحياة؟ الإجابة التالية لن تفيد: الحياة لم يكن منها بد، لأننا موجودون الآن. من الواضح أن الحياة بدأت - ووجودنا يؤيد هذا كثيراً - ولكن هل كان عليها أن تبدأ أو تتشأ؟ وبكلمات أخرى: هل كان ظهور الحياة من خلال «حساء» كيمائى أمراً محتوماً ولا يمكن تجنبه، باعتبار كل هذه السنين، بل الملايين منها؟

لا أحد يعرف الإجابة عن هذا السؤال. ربما يكون أصل الحياة مجرد مصادفة، أو حادثة كيميائية مذهلة غير محتملة أو غير مرجحة الحدوث، واقعة لا يُتصور حدوثها مرتين فى كل الكون. أو أنها ربما كانت أمراً محتوماً ومعتاداً مثل تشكل بلورات الملح. كيف لنا أن نعرف أيًا من هذه التفسيرات هو الصحيح؟

دعنا نلقى نظرة على نظرية المصادفة الكيميائية تلك، وكما سلف شرحه فى هذا الفصل تعتمد الحياة الأرضية على بعض الجزيئات المعقدة والباهرة البناء، والذى أقيم بعناية. حتى فى جزيء عضوى بسيط مثل الدنا يتكون من بلايين الذرات. والسلسلة المتعاقبة المحددة للذرات هى من الأمور العصبية والحاسمة، إذ لا يمكنك أن تحصل على نتيجة أو تعاقب اعتباطى أو تحكمى، لأن الدنا تمثل دليل البناء فى صناعة العضو الحى. وتغيير قليل من الذرات سوف يهدد البناء كله، وتغيير عدد كبير منها فلن يكون ثمة «كائن» على الإطلاق.

وهذه الحالة يمكن مقارنتها بتعبير «تعاقب» فى رواية أدبية. قم بتغيير بعض كلمات هنا أو هناك بعشوائية وربما سيثوه الموقف قليلاً. ولكن قم ببعثرة كل الكلمات. وسيكون الاحتمال الأكبر، ألا تكون هناك رواية بعد ذلك وستكون هناك روايات أخرى. بالكلمات نفسها، ولكن بتركيبات مختلفة، ولكن يمكن تحويل

مجموعة سلسلة تعاقب الكلمات التي تصنع الروايات إلى جزء متناهي الصغر من الكل الممكن من سلاسل تعاقبات الكلمات.

في القسم السابق أعطيت نماذج لغرابية كيف يؤدي خلط عشوائي للحامض الأمينى إلى الطريق الصحيح، للوصول إلى جزئ بروتين عن طريق المصادفة. هذا كان لبروتين واحد، بينما الحياة كما نعرفها تتطلب مئات الألوف من البروتينات المتخصصة، ودع عنك جزيئات الحامض. هذا الشذوذ لصناعة البروتين من خلال المصادفة البحتة، أشبه ما تكون نسبته واحد من كل ١٠٠٠٠٠٠ (ويعنى واحدًا متبوعًا بـ ٤٠٠٠٠ صفر، والذي يحتاج لفصل كامل من هذا الكتاب إذا أردت أن أكتب الرقم بالكامل)، وهنا يكون تصنيف أوراق الكتب، بحيث تخرج مرتبة تصادفًا لألف مرة سهلًا بالمقارنة مع النسبة المذكورة. وفي ملحوظة شهيرة<sup>(١٧)</sup> للفلكي البريطاني فريد هويل "Fred Hoyle" شبه فيها تلك الشواذ المؤدية إلى التركيب الذاتى العفوى للحياة بمكافئ أن تكنس عاصفة كل ما فى فناء من النفايات، لتنتج عنها طائرة بوينج ٧٤٧ تامة الصنع والأداء.

لقد اعتدت أن ألقى محاضرات في إمكانية وجود الحياة في الفضاء الخارجى. وبشكل ثابت فهناك واحد من المستمعين سوف يُسمعى هذه المقولة: لا بد أن تكون هناك حياة على كواكب أخرى، لأن هناك نجومًا عديدة تبدو، أو لديها بالفعل إمكانيات استيطانها، هي إذن جدلية منتشرة وعامة. وفي رحلة قمت بها مؤخرًا إلى أوروبا للاشتراك في مؤتمر حول الحياة في الفضاء، وجدت في الطائرة أن من بين برنامج تسليّة الركاب، ما يتناول البحث عن الحياة خارج الأرض، وكان الوصف الدعائى للعرض يقول<sup>(١٨)</sup>: مع وجود ٠,٥ تريليون نجم تحلق عبر الحركة اللولبية أو الحلزونية لمجرة درب التبانة "Milky Way Galaxy"، فإنه يبدو أنه من غير المنطقى الظن بأن كوكب الأرض وحده هو الذى يحوز حياة ذكية، وكان استخدام كلمة «غير المنطقى» من قبيل سوء الحظ أو سوء التقدير.



لأن المنطق سليم مائة بالمائة، وهناك بالطبع الكثير من النجوم على الأقل عشرة بلايين من البليون في الجزء المرئى من الكون، ولكن هذا العدد، وإن كان يبدو لنا ضخماً فهو مع ذلك صغير بمقارنته مع درجة الشذوذ المهولة لعشوائية التركيب الذاتى ولو لواحد من جزيئات البروتين. ربما يكون الكون كبيراً ولكن الحياة لو تشكلت مرة من خلال إثارة عشوائية فى فناء للفضلات من الجزيئات، فسوف تكون الفرصة ضئيلة لحدوثها مرتين.

بعض الناس يشعرون أن شيئاً أساسياً مثل وجودنا، لا يمكن إرجاعه إلى مجرد انعطاف كيميائى، ثم إخفاء المشكلة تحت السجادة بعبارة «حادث» أو «واقعة» كوسيلة للإمساك بقمة المسألة. أحياناً ما يأخذ مبدأ التوسط هذا الشكل: ليس ثمة شئ خاص أو استثنائى حول مكاننا من الكون، فالأرض تبدو كوكباً نموذجياً يدور حول نجم نموذجى فى مجرة نموذجية. إذن لماذا لا تكون الحياة على الأرض هى أيضاً نموذجية؟

ولسوء الحظ، فإن مثل هذه الجدلية لن تثمر شيئاً. إن وجودنا نفسه لا بد أن يكون الاستثناء للقاعدة التى نرى أنها غير استثنائية. وإذا كان هناك كوكب واحد عليه حياة، فيتوجب أن يكون كوكبنا! ومن الواضح أننا لن نجد أنفسنا على كوكب لا حياة فيه وهذا بالتعريف ذاته. ومن ثم لن تكون الأرض قد أختيرت بعشوائية فى نموذج الكون، لأننا نحن الذين تخيرناها بوجودنا نفسه.

وبالرغم من هذه الحقيقة التى لا يمكن إنكارها، فعلى العلماء أن يحاولوا شرح العالم فى حدود القوانين والمبادئ أياً ما كان هذا ممكناً. لن يكون لك مهرب إذا جادلت فى أن الحلقات حول زحل قد تشكلت كحادثة تجمع أعداداً من عناصر تتحرك مستقلة عن بعضها. إن العودة إلى «المصادفة» يجب أن يكون منظوراً إليها كآخر ما يرجع إليه. وهذا لا يعنى أن المصادفات لم يسبق حدوثها هى أو غيرها<sup>(١٩)</sup>، ربما تكون الحياة

على الأرض مصادفة. ولكننا على الأقل يجب أن نحاول وصف النشوء  
الإحيائي كعملية فيزيائية عادية. وفي الفصول القادمة. سوف أُجيب النظر  
في بعض المقترحات الخاصة بالإقلال من الضخامة البادية لشذوذ الحدوث  
العفوي للحياة.

## الهوامش

- (١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان "Evolution from Melocules to Men" والذي أشرف على تحريره د. س. بندال "D.S. Bendall" (Cambridge University Press, Cambridge 1983, p. 128)
- (٢) يشيع بين البيولوجيين أن المورث العام ليس مجرد خلية واحدة بالمعنى الحرفي، ولكن تجمع من الميكروبات، تستطيع الجينات عبرها الانتقال «متأخرًا» والمقايضة مع الجينات.
- (٣) «دارون» Darwin لـ: أريان ديزموند Adrian Desmond وجون مور Michael Joseph, London, 1991, p. 230). John Moore تلتامى مع مسيرة الزمن للأمام بالمقارنة مع عائلة الشجر - على الأقل كبداية - والتي تلتامى إلى الوراء من الزمن.
- (٤) انظر على سبيل المثال: التطور في النظم البيئية متطرفة الحرارة على الأرض (وعلى المريخ؟) "Evolution of Hydrothermal Ecosystems on Earth and Mars ?" الذي أشرف على نشره جريجوري بوك "Gregory Bock" وجامي جودي "Jamie Goode" (Wiley & Sons Ltd., New York 1996, Chapter 1 and 2).
- (٥) مصدر الضوء المتضام Stromatolites يستغرق أو يحيط بأنشطة النظم الميكروبية الأخرى أيضًا بما فيها الطحالب، ومن الصعب القول بماذا تحديدًا تصنع الأحفورات.
- (٦) في عام ٢٠٠٢ أحاطت الشكوك بقائمة معلومات الواراوونا "Warrawona" كدليل على الأحفورات الماكروية، وذلك بواسطة مارتن براسيير "Martin Brasier" من جامعة أوكسفورد (See Nature 416, 76 (2002)).

(٧) لمزيد من فهم الوضع الجيولوجي الحالي والذي يقترح أن هذه العضويات تعيش في نظم متطرفة الحرارة بالقرب من قاع الكالديرا **Caldera** الفيضانية وعلى ذلك تكون معتمدة على الكيماويات **Chemotrophs** عن أن تكون الباكثيريا الزرقاء: داكنة اللون **Cyanobacteria**.

(٨) دليل على الحياة فوق الأرض منذ ٣٨٠٠ مليون سنة مضت « **Evidence for life on Earth before 3800 million years ago** » لـ: س.ج. موجزلز وآخر " **S.J. Mojzsls et al** (Nature 384, 55, (1996)). ومع ذلك ففي أواسط عام ٢٠٠٢ قامت شكوك جادة على مصداقية هذه النتيجة.

(٩) الحياة فيما وراء الأرض " **Life Beyond Earth** " لـ: جيرالد فينبرج **Gerald Feinberg** وروبرت شابيرو " **Robert Shapiro** ". (William Morrow, New York 1980, p. 113).

(١٠) سر أصل الحياة " **The Mystery of Life's Origin** " لـ: شارلز ثاكستون " **Charles Thaxton**، ولتر برادلي " **Walter Bradley** "، وروجر أولسن **Roger Olsen** . (Philosophical Library of New York, New York 1984, p. 12).

(١١) التطور من الجزيئات حتى الإنسان الذي أشرف على تحريره د.س. بنдал (Cambridge University Press, Cambridge 1983, p. 128).

(١٢) اقتباس من خلق الحياة " **The Creation of Life** " لأندرو سكوت " **Andrew Scott** ". (Blackwell, Oxford 1986, p. 49).

(١٣) اقتباس من: العوالم وهي في حالة الصنع **Worlds in the Making** لـ: سفانت أرهينيوس " **Svante Arrhenius** ".

(Harper, London 1908, p. 216).



(١٤) لو حدث تفاعل ما فوق سطح، مثل الوحل أو الطفلة أو الصخر، سيكون مختلفاً عن جسم في مياه حساء لأن اعتبارات الديناميكا الحرارية ستتحوّل لصالح التركيب والتأليف.

(١٥) وهذا أزيد كثيراً على عدد الذرات في الكون المرئي أو الملحوظ.

(١٦) ادعى فوكس Fox نفسه أن الأمر الصحيح لم يحدث من خلال المصادفة، ولكن الكيمياء نفسها هي التي فضلت الشريحة المتناهية الصغر لسلسلة البيبتيدات ذات الصلة بالبيولوجيا. انظر على سبيل المثال: تطور الجزيئات وأصل الحياة "Molecular Evolution and the Origin of Life" الذي أشرف على تحريره س. فوكس S.Fox و. ك. دوز (K. Dose) (Marcel Dekker, New York 1977) .. والادعاء بأن الكيمياء تعرف شيئاً على نحو ما عن البيولوجيا هو مجرد نفاية تثير الغضب، وهو ما سأعود إليه في الفصل العاشر.

(١٧) الكون الذكي "The Intelligent Universe" لـ: فريد هويل 'Fred Hoyle'.

(Michael Joseph, London 1983, p. 19).

(١٨) أمنية "Omnia"

(British Air Ways Flight Magazine September / October 1997, p. 26).

(١٩) هو تفسير يعتمد على ظروف نزوية، ولو أنه ليس مستحيلاً، وإن كان غير محتمل ورائياً. أي في زمن ماض ونحن ربما نأخذ بالأفضليات أو المميزات في مواجهة تلك الظروف وكمقياس كمي لما لا نعتقد به، أو لنقص الثقة في نظرية الحظ السعيد أو القائمة على رمية بغير رام.



## الفصل الرابع

### الرسالة التي تبعث بها الآلة

فى يوليو من عام ١٩٩٧ نشر العلماء صوراً لآلة جيتار لا يتجاوز حجمه خلية بشرية واحدة، ولا تزيد تخانة أوتاره على تخانة مائة ذرة. وهذه الآلة القزمية Lillipution<sup>(\*)</sup>. كانت منحوتة من السيلكون silicon<sup>(\*\*)</sup> المتبلور الشفاف عبر تقنية حفر تستخدم فيها حزمة أشعة أليكترونية. وكان المقصود بها التحايل لسبر مشكلة ما، ولكنها بطريقة درامية سلطت الضوء على تقدم تقنى مهم: الآلات يمكن صنعها الآن فى هيئة متناهية الصغر لدرجة أن يصعب رؤيتها بالعين المجردة. لقد صنع العلماء تروساً لا ترى، وموتورات فى حجم رأس سن القلم الرصاص، ومحاولات كهربائية ضئيلة الحجم لدرجة أن تتعادل مع جزيء بشرى. وحتى نجد مهندسى شركة IBM وقد استطاعوا أن يختموا سطحاً كريستالياً باسم الشركة بحجم يعادل صفراً من الذرات الواحدة بجوار الأخرى. وعلى الجملة فإن تقنية النانو (الجزء من المليار) تمثل برعاً يزدهر ويعد بتثوير نمط حياتنا: وهى تقنية البناء بمقياس يصل إلى جزء من البليون من المتر.

هذه المنجزات «النانوية» تخطف الأنفاس بحق فى مجال تطبيقاتها، ولكننا يجب ألا نفقد رؤيتنا لحقيقة أن الطبيعة هى التى كانت نانوية فى البدء. والعالم مملوء بالفعل بالآلات النانوية، والتى يطلق عليها اسم الخلايا

---

(\*) تعبيراً عن الأقزام (لا يتجاوزون طول الإصبع) المتخيلين من سكان جزيرة ليلى بوت الخيالية (المترجم).

(\*\*) عنصر لا فلزى (المترجم).

الحية. وكل خلية محتشدة ببناءات صغيرة، وكأنها قادمة على التو من كتيب إرشادات لمهندس ما. لاقطة الحروف الصغيرة ومقصات (شبيهات المقصات) والمضخات، والموتورات، والروافع، والصمامات، والمواسير، والسلاسل، وحتى العربات الوافرة هنا وهناك. كل المكونات المتنوعة تتلاءم مع بعضها البعض، مُشكّلة في مجموعها توظيفاً ناعماً وسهلاً، تماماً كخط إنتاج متعاون الأجزاء في مصنع: تلك هي الخلية الحية. هذا ومعجزة الحياة لا تنحصر في أنها مصنوعة من أدوات نانوية، ولكن في أن هذه الأدوات المتفرقة في نوعيتها مدمجة مع بعضها بطريقة رفيعة التنظيم.

ما سر هذه المنظمة المدهشة؟ كيف لذرات غبية أن تفعل ذلك؟ وبصفة فردية، فإن الذرات يمكنها أن تتدافع مع جاراتها وتتواءم أو ترتبط معها فيما إذا كانت الظروف صحيحة. والتي على نحو جمعي، تحقق أعاجيب من البناء والسيطرة في درجة من التناغم المنضبط والمعقد، والذي لا يستطيع أي مهندس بشري أن يصل إليه على نحو ما اكتشفت الطبيعة - ولحسابها الخاص - كيف تقوم بذلك. لقد عرفت كيف تبنى هذه الآلة المعقدة التي يصعب تحليلها، والتي نسميها الخلية الحية، مستخدمة فقط المواد الأولية المتاحة والمختلطة مع بعضها البعض بغير انتظام. وهي تكرر هذا العمل الفذ كل يوم في أبداننا وفي كل لحظة تُولد فيها خلية جديدة. إن هذا في حد ذاته يعتبر إنجازاً مدهشاً. والأكثر من ذلك أن الطبيعة صنعت أول خلية من أول الخط.

**كيف تم ذلك؟**

إنني كفيزيائي متواضع حين أفكر في الحياة على مستوى الجزيء، فإن السؤال الذي يظل يلح على ذهني هو: كيف لكل هذه الذرات التي لا



عقل لها أن تعرف ماذا تفعل؟ إن تعقيد الخلية الحية لشئ هائل، إنه يشابه مدينة في أقصى حالات النشاط القائم على التعاون. كل جزيء فيها له وظيفة محددة، وله تصنيفته في المخطط العام، بحيث يتم إنتاج المطلوب. ثمة كثير من التعديل والإبدال يتم هناك، حيث على الجزيئات أن ترتحل عبر الخلية لتلتقي مع أخريات في المكان المناسب وبنظام محدد يسمح بأن تقوم المجموعة بعملها بطريقة ممتازة. وكل هذا يتم دون قائد أو رئيس يحدد لها الخطوات أو الموقع الذي يتحركون منه أو إليه. ليس إذن ثمة مشرف يراقب أنشطتها. فالجزيئات ببساطة تقوم بما عليها أن تعمله: تقوم بحركتها الداوية وهي عمياء، وتلتقي بالأخريات من نظائرها وتتعانق معها بعد الارتطام. وعلى مستوى الذرات المفردة فإن الحياة أشبه بمجتمع مثالي من دون حكومة تقوده - تتخبط في فوضى لا هدف لها. ولكن على مستوى الجماعة فإن هذه الذرات المفتقدة للتفكير تؤدي وتقوم معاً بأداء ما يمكن أن نسميه «رقصة الحياة» على درجة من الدقة الرائعة والشديدة الحساسية.

هل للعلم أن يشرح هذه العملية الرائعة والفخيمة بشكل استثنائي وذاتي القيادة وهي تعزف لحنها دون قائد للأوركسترا سوى ذاتها؟ ثمة بعض من الناس يرفضون ذلك بشكل سطحي<sup>(١)</sup>. ويعتقدون أن الخلية الحية، والتي يسودها التعاون الشديد في إطار خطة في أقصى درجات الانضباط، ليست مع كل هذا نتاج قوى فيزيائية عمياء وحدها. ويقول إن العلم ربما يُقدّر هذا الملمح الفردي، ولكنه لن يستطيع أبداً أن يشرح الوضع الكلي العام لمنظمة من هذا النوع، أو كيف تجمعت أو تركبت الخلية الأصلية في أول الأمر.

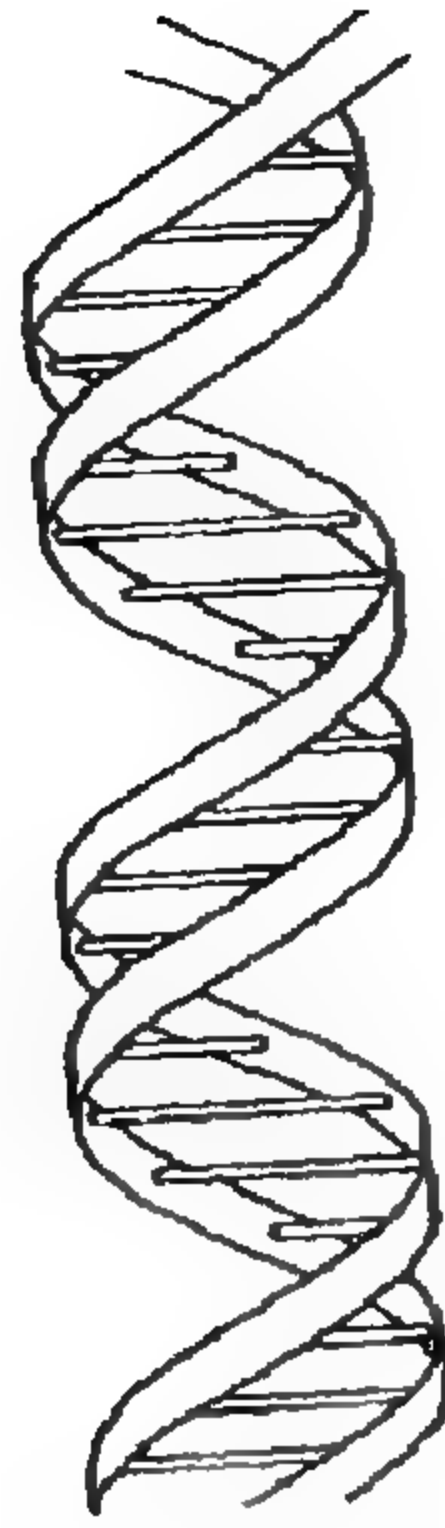
وأنا هنا أختلف مع هؤلاء، معتقداً أن العلم في نهاية الأمر سوف يتسنى له أن يعطينا تفسيراً مقنعاً لأصل الحياة. ولكن فقط إذا ما تم الإمساك بالمسألة على مستويين: الأول على مستوى الجزيء، وهو موضوع هذا الفصل، والذي حقق التقدم فيه درجة عالية من التأثير. فعلى مدى عقود قليلة مرت، حققت البيولوجيا الجزيئية خطوات واسعة في تحديد أي جزيء يفعل ماذا من أجل ماذا. وقد «وُجد على الدوام أن الطبيعة بأدواتها النانوية تعمل طبقاً لقوانين وقوى الفيزياء العادية» ومع ذلك سيكون من الخطأ افتراض أن الجزيئات هي كل ما هنالك بالنسبة للحياة. ونحن لم نعد نشرح الحياة بواسطة تصنيف أنشطة الجزيئات بأكثر من تقديرنا لعبقرية موتسارت Mozar أو أينشتاين أو كيف تعمل العصبونة العصبية "neurone" (\*). وباستخدام العبارة المألوفة: فإن الكل أكبر من كم أجزائه. وهو ما يعنى أن كلمة «عضو» organism ذاتها تفيد التعاون على مستوى جماعي، لا يمكن إدراكه من خلال دراسة أجزائه فقط. ومن دون فهم هذا النشاط الجماعي، فسنكون قد شرحنا الحياة على نحو جزئي فقط.

#### ضاعف ثم ضاعف: أو كرر التجربة واستمر في التكرار:

لقد وضعت التناسل أو التكاثر في الفصل الأول قريباً من قمة قائمتي في تعريف خصائص الحياة. ومن دونه تتوقف الحياة طال الوقت أو قصر. ولوقت طويل لم تكن لدى العلماء سوى أفكار قليلة عن كيف للحياة العضوية أن تعيد إنتاج ذاتها. كانت هناك فكرة غامضة عن وجود ثمة جينات غير مرئية تتقل رسالة عضوية من جيل إلى الجيل الذي يليه، فكرة لا تكشف إلا القليل عن كيف تقوم الخلايا بذلك. ومع التقدم في البيولوجيا الجزيئية، واكتشاف الدنا DNA، فقد وُجد حل لهذا الغموض أو السر.

---

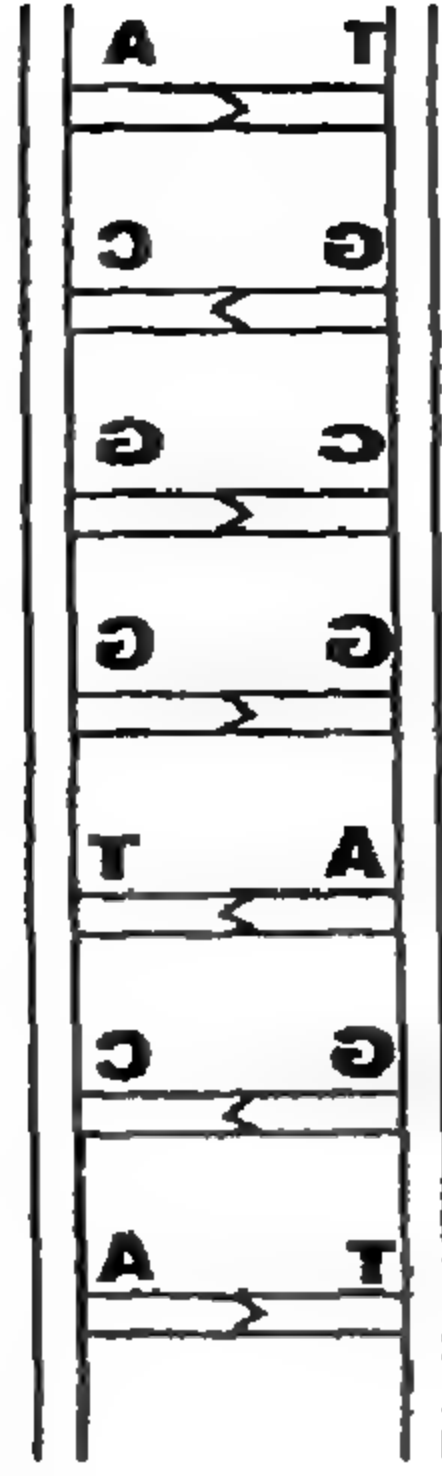
(\*) العصبونة العصبية هي مركز أو موقع التلاقى بين الشبكات العصبية بالمخ (المترجم).



(شكل ٤-١)

حلزون مزدوج. بناء جزيء الدنا هنا يظهر على نحو تخطيطي. ولاحظ أن الخطين الحلزونيين يرتبطان معاً بروابط عرضية. تلك التي تلعب الدور الحاسم في حفظ المعلومات البيولوجية.

وبالوصول إلى ضرورة المسألة، فإن سر التنازل يكمن في تكرار تجربة الجزيئات ونسخ ذواتها. وقد تبدو مسألة أن الجزيء يصنع نسخة من ذاته، ذات طابع سحري، ولكنها فعلياً مجرد عملية مستمرة، وفي خط مستقيم يتجه للأمام. والفكرة الرئيسية فيه تقوم واقعياً على خضوعها لقواعد تجربة هندسية أولية. وقد تكون الفكرة الأولى التي يمكن استخلاصها واضحة، ولكنها حاسمة الأهمية: الجزيئات لها أشكال واضحة لا لبس فيها. الجزيئات العضوية ليست مجرد شكل كروي بسيط أشبه بالفقاقيع، إنما هي التي تتحت بصفة مبدئية كل ملحقات الجسد، مثل الأذرع والكيعان والفجوات والحلقات. ولولا قوى التبادل الذري التي تملئ أو تأمر من التي تعصى أو تتمرد على من، ما كان الأمر ليتم. إنها عمومية البناء الثلاثي الأبعاد للجزيئات العضوية التي تحدد بقوة فيما يشبه «الاصطناع» (القالب أو الطراز أو النموذج) قابلياتهم البيولوجية. لقد كان الفلاسفة الفيثاغوريون "Pythagorean" هم الذين اعتقدوا أن الهندسة هي مفتاح العالم أو الكون، ولذلك أتوقع أنهم كانوا سيسعدون للنتيجة التي أشرت إليها.



(شكل ٢-٤)

دنا غير مجدولة: هنا الحلزون المزدوج قد تم تصويره، بحيث يكشف عما يشبه السلم. ودرجات هذا السلم تتكون من أزواج متتامة مع بعضها من الجزيئات، آخذة شكل القفل والمفتاح على نحو متضام وحميمى.

الدنا تمثل قاعدة المعلومات «البنكية» - إذا جاز التعبير - ذات الطابع الجينى. وهى القائمة بتكرار التجربة (إعادة طبع أو نسخ ذاتها)، التى ترقد أو تكمن فى قلب عملية التكاثر البيولوجية. ودعنى أصف لك كيف تقوم الدنا بإعادة نسخ ذاتها، مستخدمةً عمليةً هندسيةً بسيطة. بناء الدنا هو ذلك الحلزون المزدوج الشهير، الذى اكتشفه كل من كريك "Crick" وواتسون "Watson" فى بواكير الخمسينيات من القرن الماضى، وتظهر تركيبته على نحو تخطيطى فى الشكل «١-٤»، ولاحظ أن الخطين الحلزونيين المجدولين يرتبطان بروابط عرضية توثق بينهما. وبالنسبة لتفسيرى، فإن الشكل الحلزونى هو أمر ثانوى واتفاقى، وعلى هذا، ولكى تكون الأشياء أكثر بساطة، تخيل هذه المجموعة من اللغات المجدولة فى الحلزون قد تم فردها لتشكّل نوعاً من السلالم (انظر الشكل ٢-٤). فإن درابزين السلم هما الخطان الحلزونيان، أما درجات السلم فهى تتطابق مع الروابط العرضية. وتقوم هذه الدرجات بدور «السقالات» فى البناء، والتى تمسك أو تربط



الجزئيات مع بعضها البعض. ويتركز عمل الجزء الخاص بالدنا على هذه الدرجات العرضية.

وهذه الدرجات ليست كلها متساوية، ولكنها تقوم على تنوع من الجزئيات تسمى النيوكليوتيدات nucleotide<sup>(\*)</sup>. والتي تقوم بدورها على قاعدة من مواد تحمل أسماء كيميائية: أدينين adenine، وجوانين guanine، وسيتوزاين cytosine، وثيامين Thyamine<sup>(\*\*)</sup>، والتي يشار إليها جميعًا بالأحرف الأولى من أسمائها الإنجليزية A, G, C, T للاختصار، (والتي سندأوم على استخدامها هنا لتتلاقى الإرباك). وكل درجة سلم تتشكل فعليًا من زوجين من هذه القواعد من كل نهاية لها إلى النهاية الأخرى الموثقتين بالدرابزين، وهنا بالذات تظهر الهندسة. نجد أن A مصنوع خصيصًا لغرض يتلاءم جيدًا مع T، بينما C, G مصممان بإحكام ليأخذا هذا الموقع معًا من البناء العام. والقوى التي تربط هذه الأزواج القاعدة هي في العادة أقرب إلى الضعف. تخيل أنك سحبت بقوة درجتى السلم بحيث يبتعد كل منهما عن الآخر، كما لو قام منشار بنشرهما من وسطهما (انظر الشكل ٤-٣)، وبالتالي ستبدو كل درجة سلم وكأنها مجداف وحيد له ذراعان منفصلتان، وهي القواعد غير المتضامة، وافترض أن إحداها تحمل المتتابعة TGCCAETT، فبالنّالى ستحمل الذراع الأخرى المتتابعة المتممة لها ACGGTCAA. ويمكنك بالتالى إعادة تركيب السلم بأن تصف قاعدة الأزواج الصحيحة مرة أخرى وتطبق على النهايات المفتوحة فى كل درجة سلم لينضمامًا معًا مرة أخرى. وفكرة أن كل قاعدة فى جزئ الدنا لها شريك بهذا الشكل يجعل من درجة السلم نوعًا من الطابعة بالنسبة للدرجة الأخرى من السلم، فإذا كانت لديك جديلة واحدة لا تقلق، حيث يمكنك أن تعرف شكل بناء الجديلة الثانية باستخدام قواعد أو قوانين الأزواج: A مع T و C مع T.

---

(\*) أحد المكونات الأساسية للحمض النووى والمكونة من أساس «بورينى»: بعض السكر وبعض الفوسفور (المترجم).

(\*\*) وجميعها تشكل الأساس البورينى للحموض النووية: الدنا والRNA والسابعة ضمن المادة السائلة السيتوزيل sytosel غير القابلة للتحلل فى هيولى الخلية (المترجم).

تلك هي قاعدة الطبع أو التضمين القائمة عليها عملية النسخ. ولكي نعرف كيف؟ تخيل أن بعضًا من الحزبون المزدوج لا يعمل بالهمة والنشاط اللذين وصفتهما قبلاً، تاركاً بعضًا من القاعديات غير الملحقة بالنظام، تخرج بعيداً عن الجديلة. فلو أن هناك مدداً من قاعديات جزيئية حرة -  $T,s$  و  $C,s$  و  $G,s$  و  $A,s$  - تطفو أو تقوم في الجوار، فسوف تميل للاقتراب من خلال ضيق الحيز المتاح وتربط نفسها بالجزء المقطوع المعرض للخطر على نحو  $A \rightarrow T$ ، و  $C \rightarrow G$ ، و  $T \rightarrow A$ ، و  $G \rightarrow C$ ، وهكذا وعلى نحو أوتوماتيكي يعيدون بناء جديلة متضامنة من جديد. وما دامت قواعد الزوجيات تعمل على نحو صحيح، فإن الجديلة الجديدة من المضمون أن تكون متطابقة مع الجديلة الأصلية. وبالتالي، فإن أي جزيء دنا قد تم جذبه إلى خارج موضعه، بحيث يبقى الجزيء الآخر من الجديلة معرضاً للخطر، فسوف يبني لنفسه جديلة جديدة مشاركة له، أي سيكون هناك جزيئاً دنا بدلاً من واحد. ولاحظ أن هذا النوع من طبع النسخة لا يتشابه مع النسخ من خلال آلة تصوير مستندات، إنما هو أشبه من طبع نسخة من الصورة باستخدام النيجاتيف (النسخة السوداء التي تمثل أصل الصورة «الترجم»).

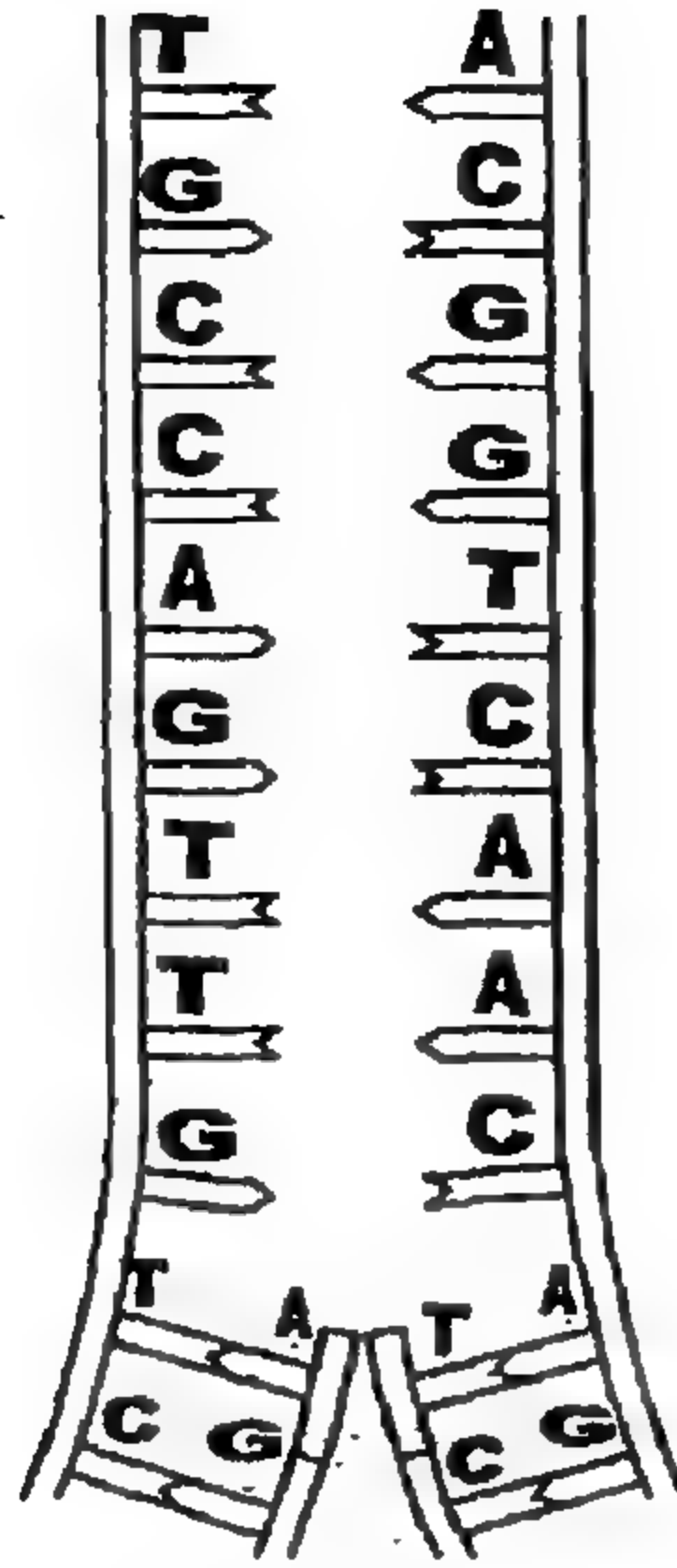
وهكذا يكون التكوين البنائي لتكاثر الدنا قد تم شرحه، ولكن يبقى السؤال حول الجينات وعملية الوراثة. كيف للدنا أن تقوم بتخزين المعلومات الجينية ونقلها؟ وهنا يجيء دور القاعديات الأربع المختلفة. وقد يمكنك التفكير في  $T, C, G, A$  كأربعة حروف أبجدية، والتتابع المحدد للحروف، يمكن أن يستخدم في التعبير عن رسالة. والجين ببساطة عبارة عن خيط أو سلك طويل مع قاعدة من الأزواج أو الحروف التي ينقل كل زوج منها جزءاً من الرسالة. عندما تتكاثر الدنا من تطابق تعاقبي يكون قد تم بناؤه في النسخة الجديدة.

وبسبب من ازدواجية السلك الممتد على نحو حلزوني والطابع المتضام أو المتتام للعملية، فإن كل جزيء دنا يشتمل فعلياً على نسختين من الرسالة، واحدة إيجابية **positive** والثانية سلبية **negative**، وهكذا تكون المعلومات التي يحتاج إليها جزيء دنا كامل، متضمنة في كل واحدة من الجدائل.

وتتم عملية التكاثر بفاعلية كبيرة بمساعدة بعض الإنزيمات **enzymes** التي تسهل مسألة النشاط والحيوية التي تتم بها وأيضًا بعض العمليات المتصلة بها. وكدليل على هذه الفاعلية البالغة، فإن البناء الأساسي للدنا قد استمر في البقاء لأكثر من ثلاثة بلايين سنة. ومع ذلك فإن عملية التكاثر ليست تامة مائة في المائة، ولا مفر من وقوع أخطاء من وقت لآخر. وهذه ستغير تتابع القاعديات مثل عملية بعثرة للحروف **AGCT**. ولأن الدنا عبارة عن وصفة لصنع كائن عضوي، فإن الرسالة لو انحرفت قليلاً أثناء ظرف التكاثر، فإن الكائن العضوي الناتج عنها ربما سيعاني من عملية «تحول». وأخطاء النسخ هذه، هي مصدر التنوع بين الأجيال والتي تمارس فيه عملية الاختيار الطبيعي دورها. ومسألة الرسالة الجينية طويلة بشكل مؤثر لأنه على سبيل المثال تشتمل بكتيريا بسيطة كـ **E.Coli** على عدة ملايين من الرموز في طريقها الجينية، (الجينوم هو منظومة كاملة من الجينات) كافية لملء ألف صفحة من كتاب. أما الخريطة الجينية البشرية، فربما تحتاج مكتبة بأكملها. وكما شرحت في الفصل الأول، فإن الدنا تحتوي على المعلومات الكاملة التي يحتاج إليها صنع وبناء الكائن العضوي، الذي تنتمي إليه، تخيل أنت هذا المشهد، وهو أن الحياة عبارة عن خيط أو سلك من أربعة حروف.

### صنع الحياة:

لقد جعلت الحياة حتى الآن تبدو، وكأن الدنا هو بيت القصيد فيها والجينات، والتكاثر. وهذا صحيح ولكن من خلال نظرة بيولوجية ضيقة، حيث تنحصر الحياة في تكاثر الجينات. ولكن الدنا لا تمثل شيئاً في حد ذاتها، إذ لا بد من بناء الخلية بكل كيميائياتها المتخصصة والتي تؤثر فعلياً على عملية التكاثر، وفي مستويات أعلى من أشكال الحياة، يلزم أن ينبني كائن عضوي كامل من أجل إقامة عملية التكاثر، ومن ناحية الرسم المنظوري للخريطة الجينية فإن الكائن العضوي يمثل طريقاً غير مباشر لتكاثر الدنا.



(شكل ٣-٤)

التكاثر: الخاصية المفتاح للحياة. إذا انفصلت الدرجات العرضية للسلم عن بعضها البعض، فإن الأجزاء المبتورة يمكنها أن تغوى القاعديات المنفردة الصحيحة، والتي قد تكون طافية حولها، لكي تبنى سلكاً متصلاً ونشطاً وجديداً، وحين يفعل كل نصف دنا هذا، فإن الجزيء سيكون قد نسخ نسخة من ذاته.

لماذا تحتاج الجينات لكائن عضوى متكامل حتى تمد يدها فى الأمر؟ لماذا لا يتكاثرون هم ولدنواتهم فقط؟ ستكون الإجابة: لأن الكائن العضوى يستطيع أن يفعل أشياء مثل التحرك من المكان الذى يتعرض فيه للخطر إلى مكان آخر، وأن يجمع غذاءه من المواد الأولية وهذا يساعد الدنا على التكاثر بشكل أكثر فاعلية، أما بناء كتلة حيوية كبيرة، فيحتاج إلى مَدٍ آخر، لا يصلح له الدنا. وهذا المدد الآخر يتحصل بشكل رئيسى فى هيئة بروتين <sup>(\*)</sup>protein. والذى بتعبير ثانٍ أهم مستوى

---

(\*) أى صنف من المركبات ذات الوزن الجزيئى المرتفع، والمركبة أساساً من وحدات صغيرة، هى الحموض الأمينية التى تتصل ببعضها بروابط بابتيدية. (المترجم).



فى الجزئيات العضوية المتخصصة. وكما أشرنا قبلاً، فإن الحياة كما نعرفها هى النتيجة الجوهرية لصفة التحول المفيدة المتأثرة بزوجين من الجزئيات: الدنا والبروتين.

البروتين هو المصادفة السعيدة غير المتوقعة للدنا لإمكانية استخدامه فى بناء مواد مثل جدران الخلايا والإنزيمات <sup>(\*)</sup>enzymes، وهى التى تلاحظ وتسرع ردود الفعل الكيماوية والإنزيمات هى المادة الكيماوية التى تقوم بـ «تزييت عجلة الآلة البيولوجية». ومن دونها، فإن عملية الأيض سوف تتوقف، ولن تكون هناك طاقة كافية متاحة لعملية الحياة. ومن ثم لا يدهشنا أن جزءاً كبيراً من قاعدة المعلومات المخزنة يدور حول كيفية صنع أو إنتاج البروتين.

هنا سنعرف كيف يتم إنجاز هذه التعليمات. تذكر أن البروتينات هى سلسلة طويلة من الجزئيات المصنوعة من الكثير من الأحماض الأمينية المصفوفة معاً، مشكلة ما يسمى بالـ: بولى ببتايد Poly peptide. وكل تتابع مختلف من الأحماض الأمينية يُغل إنتاجية مختلفة من البروتين، والدنا لديها قائمة بالبروتينات المرغوبة التى يحتاجها الكائن العضوى. وهذه المعلومات مخزنة بواسطة تسجيل التتابعية الخاصة للحامض الأمينى، الذى يحدد كل نوع من البروتين تتضمنه القائمة. وهى فى هذا تستخدم الحروف الأبجدية الأربعة للدنا: AGCT، وكل تتابعية محددة من هذه الحروف تتف وصفة الحمض الأمينى، بروتين بعد بروتين بالضبط عدة مئات من الأزواج القاعدية لكل منها.

ولكى تصبح هذه القائمة الجافة من الأحماض الأمينية قابلة للتركيب والتجميع والقيام، من ثم بوظيفتها كبروتين، فإن الدنا تطلب المساعدة من جزيء آخر قريب الصلة بها يعرف باسم الرنا RNA (اختصار الحامض الريبى

---

(\*) سلسلة من الأحماض الأمينية تحوى ما يزيد على ١٠ أحماض ويقل عن ١٠٠ حمض أمينى، كما لا يزيد وزنها على ١٠٠٠ دالتون (وحدة لقياس الكتلة تعادل ١/١٢ من كتلة نواة الكربون (المترجم)).

(ribonucleic acid) والرنا بدوره مكون من أربع قاعديات AGCU، وهذا الحرف الأخير U يرمز للـ: يوراسيل uracil المشابه للـ: T ويخدم نفس الغرض الألفبائي. وتجيء الرنا في عدة تنوعات، والذي يهمنا منها هنا هو الذي يعرف بالرنا المرسال "messenger RNA" (\*) واختصاراً: m RNA. ووظيفته أن يقرأ الوصفة الخاصة بالبروتين المطلوب وينقلها إلى «مصانع» رفيعة جداً والتي فيها يتم صنع البروتين، وهذه المصانع الصغيرة تسمى ريبوسومات ribosomes (\*\*). وهي عبارة عن آلات معقدة يقوم بناؤها على الرنا والبروتين بمختلف أنواعه. وتقع الريبوسومات في شقوق ضيقة حيث تتم تغذيتها بواسطة «المرسال» الذي يكاد يشبه هيئة الشريط المثقب الذي يستخدم في كمبيوتر من الطرازات القديمة. وشريط المرسال هذا يحدث صوتاً شبه انفجاري في الريبوسوم والتي يحمل بعدها التعليمات في شكل «بئة» بعد «بئة»، ممسكاً بالأحماض الأمينية معاً، واحداً بعد الآخر في تتابع محدد حتى يتلقى البروتين كامل تعليماته. هذا، والحياة الأرضية تصنع البروتين من ٢٠ نوعاً مختلفاً من الأحماض الأمينية<sup>(٢)</sup>. وتسجيلات المرسال هذه هي التي تقوم بعدها الريبوسومات بوضعها معاً بالنظام المطلوب الصحيح.

إنه لمن المثير للاندعاش والعجب أن ترى الريبوسوم وهو يقوم بربط الحموض الأمينية في شكل سلسلة. ومن الطبيعي أن الأحماض الأمينية تأتي طائفة ومجبرة لتتنظم في النظام المتطلب، جاهزة لأن يتم إمساكها في النهاية في شكل سلسلة. وعليه كيف يتسنى للريبوسوم أن يتأكد من أن مرسال الرنا قد تلقى الحمض الأميني المحدد في كل خطوة من خطواته؟ سنجد الإجابة في تشكيل آخر من جزيئات الرنا باسم الناقل transfer. ويختصر في t RNA وكل جزيء من

---

(\*) مركب يتألف من سلسلة وحيدات نووية أحادية الفوسفات، يحوى كل منها سكرًا خماسيًا هو الريبوز مع قاعدة نووية، هي إما الأنودايزين وإما الغوانين وإما الميتوداين أو اليوراسيل، وله ثلاثة أنواع: الناقل والمرسال والريباسي: ووظيفته الأساسية هي نقل المعلومات الوراثية من الدنا (المترجم).  
 (\*\*) والريبوسوم هو عَضِيّ يوجد في الخلية تصنع فيه البروتينات عن طريق ربط الحموض الأمينية في سلسلة متنامية وبمعدل يصل إلى ١٥ حمضاً أمينياً في الثانية (المترجم).

الرنا الناقل يُحضّر لخط الإنتاج فى مصنع الريبوسوم نوعًا واحدًا فقط من الحموض الأمينية مقيدًا فى نهاية سلسلته.

وفى كل مرحلة من مراحل تركيب البروتين، تكمن الخدعة فى الحصول على الرنا الناقل الصحيح مع الحمض الأمينى الصحيح الملحق به ليستخلص من حمولته وينقلها لنهاية سلسلة البروتين النامى الآخذ فى التجمع والتركيب، بينما يرفض أى من الـ ١٩ نوعًا الباقية التى قد تكون معروضة له. وهذا يتم كالتالى: يقوم الرنا المرسال (تذكر هنا أنه الذى يحمل التعليمات) بكشف جزء من المعلومات (مثل منظومة من «الرسائل») التى تقول: «أضف حمضًا أمينيًا كذا وكذا الآن». ويتم تنفيذ التعليمات بشكل صحيح لأن جزيء الرنا الناقل والمستهدف يحمل الحمض الأمينى المعين، سوف يتعرف على الجزء المعروض من المرسال بواسطة شكله وخصائصه الكيميائية، ومن ثم يرتبط بها. أما الجزيئات الأخرى من الرنا الناقل الذى يحمل الحموض الأمينية الخاطئة، فلن تتناسب مع موقع الارتباط ذاك. وبمجرد حدوث هذا الإغواء لجزيء الرنا الناقل الصحيح ليتم استيلاده فى خط الإنتاج، تكون الخطوة التالية أن يقوم الريبوسوم بحث الحمض الأمينى الواصل حديثًا فى الحمولة لكى يلحق نفسه بآخر سلسلة البروتين. والسلسلة تنتظر فى الريبوسوم، متدلية من نهاية الجزيء السابق من جزيء الرنا الناقل المختار. وعند هذه اللحظة يتحرر آخر جزيء وينفصل عن الريبوسوم، مارًا على السلسلة بأكملها إلى الواصل الجديد من الرنا الناقل، حيث ترتبط بالحمض الأمينى الذى حمله معه. وحينئذ تنمو السلسلة بإضافة الأحماض الأمينية برأسها عوضًا عن ذيلها. وإذا كنت لم تستوعب أو تتابع جيدًا سير العملية من قراءة ما سبق فلا تقلق، لأن الأمر ليس ضروريًا لفهم ما سيلي. أنا فقط وجدت أنه من المناسب أن تشترك معى فى الاندهاش الناجم من سير العملية بأن تتغمس معى فى بعض التفاصيل.

عندما يستكمل البروتين تركيبه، يتلقى حينئذ الريبوسوم إشارة «توقف» من «شريط» مرسال الرنا، وتتقطع السلسلة لتصبح حرة. تجتمع البروتين الآن ولكنه لا

يبقى فى الخارج أشبه بثعبان، إذ بدلاً من ذلك يتكور فى شكل كرة مقصوفة، أكثر منه كشكل قطعة بلاستيك مطاطة، ثم فردها ثم تحررت من الشد لتعود إلى ما يقترب من شكلها قبل الشد. وعملية التكور أو الإنثناء هذه، ربما تستغرق عدة ثوانٍ، ولكنها تظل جزءاً من سر كيف يُحقّق البروتين شكله النهائى. وهو لى يعمل شكلاً جيداً، فإن الشكل الثلاثى الأبعاد للبروتين لا بد أن يكون صحيحاً مع المضخات والروافع جميعها فى مكانها الصحيح، وأيضاً تدور حوله الذرات الصحيحة. وبصفة مطلقة، فإن التتابعية الخاصة للحامض الأمينى مع السلسلة هى التى تحدد هيئة التشكل النهائى للأبعاد الثلاثة، وبالتالى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبروتين.

هذه التتابعية الموهولة واللافتة للنظر من الوقائع تتكرر فى عشرات الآلاف من الريبوسومات المنتشرة فى كل أنحاء الخلية، لتنتج عشرات الآلاف من البروتين. إن التكرار هنا يستحق أن يُنجز، بالرغم من وضوح الغرض، باعتبار أن الجزيئات المشاركة فى الأمر، ليس لها عقل. وبصفة جمعية فإنهم يقومون بتعاون نمطى نموذجى كما لو كان تطبيقاً لحظة معينة. ولكن على المستوى الفردى للجزيئات فإنها فقط تقوم بالعمل المفترض فيها. وحركة مرور الجزيئات داخل الخلية لا بد أن تكون عشوائية أو مشوشة، تقودها عمليات التجاذب والتنافر الكيميائية، وعلى الدوام هى مثارة بفعل الطاقة الحرارية. وعلاوة على ذلك فإنه فى وسط هذه الفوضى العمياء تبرز «الصدفوية».

وربما فى ضوء ما ذكرت، والذى قد يكون مثيراً، فقد يعطيك الانطباع بأن الحياة فضلاً عن التكاثر، فإن صناعة البروتين هى كل شىء فى مسألة «الحياة». بالطبع من السهل أن تخرج بهذا الانطباع من الاطلاع على الكتب العادية للبيولوجيا الجزيئية. ومهما كانت «صناعة البروتين» بمثابة توصيف وظيفى جيد للدنا، فبالأكيد لا بد أن هناك ما هو أكثر من ذلك فى مسألة الحياة هذه؟ ماذا عن الطقوس الحميمة؟ بناء أعشاش الطيور؟ وماذا عن البناء الاجتماعى؟ وماذا عن



السلوكيات المثيرة للحيرة والارتباك مثل هجرة الطيور؟ ونسج المقدرات الشبكية للعناكب؟

لكي تفهم الحياة في كَلَّيتها وروعة تعقيداتها يعني أن تذهب وراء مجرد الجزيئات، وأن يكون الإنسان أو الكائن العضوى فى مجموعة محل التقدير، مع كل تراتبية مستوياتها، ومنظوماتها ذات المدى الواسع. كما يتطلب الأمر أيضا التمييز أو التفرقة بين «البناء» و«الوظيفة». والنجاح البيولوجى للجزيئات يتجذر فى جزء كبير منه على وضوح الأشكال والتآلفات الكيميائية لجزيئات معينة مثل القاعديات والبروتينات. ولكن ليس من الممكن اختصار «الحياة» فى مجموعة من الأشكال الثابتة، ألقى بها معًا بشكل عشوائى. والقوة التنظيمية للأشياء الحية تتطلب عمليات تعاونية تحتضن الجزيئات وتدمج سلوكياتها فى وحدة متماسكة. وعلى ذلك فإن شيئًا حاسمًا لم يتوضح حتى الآن. ما هو؟

الإجابة تكمن فى أعماق الوصف شبه الممتع لعملية إنتاج البروتين. لقد بدأت بشرح الأشكال الهندسية للجزيئات، وبناء الدنا، وتتابعات الأزواج القاعدية، ثم تسللت إلى الموضوع بادئًا بوصف الرسائل والمعلومات والتحديدات الوظيفية. وباختصار أكون قد انتقلت من لغة الهاردوير إلى لغة السوفت وير. الجين هو مادة ذات شكل متميز فى فراغ ثلاثى الأبعاد، ولكنها أيضا عبارة عن تعليمات لعمل شىء. سر الحياة يكمن فى هذا المحتوى البيولوجى ذى الوظيفة المزدوجة، وليس هناك أفضل من الكود الجينى لكى نضىء سر هذه الازدواجية.

### الشفرة الوراثية (الجينية):

لقد وصفت الحياة كصفقة مغلقة بين الأحماض الجزيئية والبروتين. ومع ذلك فإن هذه الجزيئات تقطن مجالات كيميائية مختلفة تمامًا، إذا ما تحدثنا بشكل عار من المصطلحات. وهذا ينعكس بوضوح على العملية الحسابية لنقل المعلومات. فقائمة

المعلومات المطلوبة لتركيب البروتين يتم تخزينها في الدنا بواسطة استخدام الحروف الهجائية: AGCT، ومن الناحية الأخرى فإن البروتينات يتم صنعها عبر ٢٠ نوعاً من الأحماض الأمينية، ومن الواضح أن من ٢٠ إلى أربعة ربما لا تمضي إلى نهايتها. إذن كيف تتواصل البروتينات مع الأحماض الجزيئية.

وقد اكتشفت الحياة الأرضية حلاً دقيقاً لهذا اللا توافق العددي عن طريق عمل حزم ثلاثية من القاعديات. لأن أربع قاعديات يمكن نظمها في ٦٤ تبديلاً في كل ثلاثة منها، ورقم العشرين سوف يعمل مع ٦٤، مع ترك مساحة لما هو زائد على الحاجة والترقيم وتتابعية درجات سلم الدنا المقررة، ثلاث إثر ثلاث وهو بالضبط التتابع الخاص بالأحماض الأمينية والصادر بشأنها التعليمات إليها.

لكي تترجم أو تنقل من ٦٤ ثلاثياً إلى ٢٠ حمضاً أمينياً، معناها أن تعين لكل ثلاثي (ويصطلح على تسميتها بشفرة واحدة «أى مفرد شفرة» codon) حمضاً أمينياً متطابقاً مع الثلاثي ذاك. وهذا التعيين أو التخصيص هو الذى يسمى الشفرة الوراثية أو الجينية. وهذه الفكرة الخاصة بأن الحياة تستخدم شفرة، كان قد اقترحها في بواكير خمسينيات القرن الماضى جورج جاموف George Gamow، وهو الفيزيائى نفسه، الذى افترض النظرية الكونية الحديثة المتعلقة بالانفجار الكبير. وكما فى كل ترجمة فلا بد أن يكون هناك من يجيد لغتين أو شىء من هذا القبيل. وفى هذه الحالة لتحويل التعليمات المشفرة المكتوبة بلغة الأحماض الجزيئية إلى نتائج مكتوبة بهذه اللغة. لعله سيكون واضحاً مما شرحت أن هذه الخطوة الحاسمة الخاصة بالترجمة تحدث فى الكائن العضوى عندما تكون الأحماض الأمينية الصحيحة والمناسبة، قد ألحقت بالجزيئات الخاصة فى ناقل الرنا قبل عملية تركيب البروتين. (أسف يلزم هنا العودة لقراءة ما شرحت فى هذه النقطة). هذا الإلحاق تقوم به مجموعة من الإنزيمات المتسمة بالمهارة حتى إنها تتعرف على كل من تتابعات الرنا وكل من الحموض الأمينية المختلفة، ومن ثم تزوج بينهم على نحو صحيح ليؤدوا المنوط بهم.

هذه الشفرة الوراثية مع قليل من الاكتشافات الحديثة على تنوعها، تمثل شيئاً مألوفاً في كل الأشكال المعروفة للحياة. وحقيقة أنها عالمية يمكن أن تكون مفهومة وذات معنى، لأنها تعنى أنها أستخدمت بنجاح من كل السالفين لمختلف أنواع الحياة، وأنها كانت من القوة والنشاط لدرجة أن تبقى عبر بلايين السنين من التطور، ومن دونها ستكون عملية إنتاج البروتين مسألة «مرة يصيب ومرة يخطئ».

وثمة أسئلة تسود في هذا المجال. كيف لهذا النظام الخاص المعقد أن يبرز في المقام الأول؟ لماذا من بين ١٠<sup>٧٠</sup> شفرة ممكنة والقائمة على الثلاثيات، اختارت الطبيعة واحدة للاستخدام العالمي؟ هل لشفرة أخرى أن تقوم بالعمل مثلها؟ وإذا كانت هناك حياة فوق كوكب المريخ هل ستكون لها نفس الشفرة الجينية كما في الحياة الأرضية؟ هل يمكن لنا تخيل حياة من دون شفرة، والتي عبرها تتوقف صفقة الجزيئات مباشرة مع بعضها على أساس التآلفات الكيماوية وحدها؟ أو أن أصل الشفرة الجينية أو الوراثية ذاتها (أو على الأقل واحدة مفردة منها) هو المفتاح لأصل الحياة؟ وكان البيولوجي الإنجليزي جون ماينارد **John Maynard**، قد وصف أصل الشفرة بأنها من أكثر المشاكل إرباكاً وإثارةً للحيرة في البيولوجيا التطورية. وكان أورز سزاثماري **Eörs Szathmary** قد كتب يقول<sup>(٢)</sup>: «آلية الترجمة القائمة حالياً، هي في الوقت نفسه عالمية إلى أقصى حد، ومعقدة إلى ذات الحد، وضرورية حتى إنه من الصعب تصور ما الذي كان سيأتى للوجود، أو كيف كان للحياة أن توجد من دونها».

ولكى تأخذ فكرة عن أى حد تمثل هذه الشفرة أحجية. إذا أنت ألقيت وراءك الأرقام المستخدمة في الموضوع. فلماذا إذن، اختارت الحياة أن نستخدم ٢٠ حمضاً أمينياً وأربعة من النيوكليوتايدات القاعدية؟ سوف يكون من الأكثر سهولة مثلاً استخدام ١٦ حمضاً أمينياً وعمل حزم ثنائية من القاعديات الأربع، بدلاً من الحزم الثلاثية.

وربما أكثر سهولة أن يكون لنا اثنتان فقط من القاعديات واستخدام شفرة مزدوجة مثل الكمبيوتر. لو كان نظامًا أبسط قد ظهر، فسيكون من الصعب أن ترى كيف كان سيعمل النظام الشفري الثلاثي المعقد. ستكون الإجابة: «لقد كانت فكرة جيدة في ذلك الوقت». لو أن الشفرة ظهرت في مرحلة باكراً جداً من تاريخ الحياة، ربما حتى في المرحلة قبل البيولوجية، فإن الرقمين ٤، ٢٠، ربما يكونان أفضل الطرق لأسباب كيميائية لها صلة بالمرحلة. الحياة التصقت ببساطة بهذه الأرقام ومن وقتها ضاع الغرض الأصلي منها. أو ربما فرصة اختيار ٤، ٢٠ هو الطريق الأقصى أو الأمثل لفعل ذلك. وثمة ميزة في قيام الحياة باستخدام تعدد متنوع من الأحماض الأمينية، لأنها معاً تستطيع أن تتشابك في «خيوط» بطرق متعددة، عارضة خيارات أكثر من البروتين. ولكن هناك ثمة أيضاً لذلك، فإنه مع زيادة عدد الأحماض الأمينية، فثمة مخاطرة في زيادة أخطاء الترجمة. مع الزيادة البالغة من الأحماض الأمينية في المجال فستكون هناك زيادة أيضاً في التشابه منها، ومن ثم يتم الإمساك بالحمض الخطأ في سلسلة البروتين. وهكذا فربما يكون الرقم ٢٠ هو نوع من التسوية أو الحل الوسط.

وهناك أيضاً مشكلة أشد قساوة تتعلق بمهام التشفير: أى شفرة ثلاثية لأى حمض أميني؟ كيف يأتى هذا التخصيص؟ حيث إن قاعديات الأحماض الجزيئية والأحماض الأمينية لا يميز كل منهما الآخر بشكل مباشر ولكن عبر توسطات كيميائية، وليس ثمة شيء واضح عن سبب ذهاب ثلاثي معين لحمض أميني معين. ومن المفهوم أن تكون ثمة ترجمات أخرى. ولكن المعلومات المشفرة هى فكرة جيدة، إلا أن الشفرة الفعلية هى من النوع التحكمي. ربما كانت ببساطة حادثة أو واقعة متجمدة، أو خياراً عشوائياً حبست نفسها فيه، من دون أى معنى أكثر عمقاً. ومن الناحية الأخرى، فربما يوجد سبب لطيف لماذا تعمل هذه الشفرة المعينة بشكل أجود، ولو أن شفرة ما تعلو حافتها حافة شفرة أخرى: الجدارة والحكمة فإن التطور فى هذه الحالة سيختارها، ومن خلال عملية تعديل إصلاحية ناجحة،



وبالتالى سيتم التوصل إلى الشفرة القصوى. ويبدو الأمر معقولاً هكذا، ولكن لا تخلو هذه النظرية بدورها من مشاكل أيضاً. التطور الداروينى يعمل من خلال الخطوات الوفيرة، محتضناً أو مرتبباً وسائل الإعاشة للمزايا عبر أجيال وأجيال كثيرة. وفى هذه الحالة لن تنفع الشفرة فى إنجاز ذلك، لأن تغيير تخصيص واحد لا يعنى التغيير فى واحد فقط ولكن فى طقم كامل من البروتين والتى من بينها البروتينات المسنولة عن تنشيط وتسهيل عملية الترجمة ذاتها. لذا، فإن تغيير الشفرة ينطوى على مغامرة تغذية آلة الترجمة المزروعة فيها، بحيث تؤدي إلى كارثة التغذية المرتدة بأخطاء قد تحطم العملية كلها. لى تحصل على ترجمة صحيحة، فعلى الخلية أولاً، أن تترجم على نحو صحيح.

وتبدو هذه النتيجة محملة بالتناقض، وكان كارل وويز Karl Woese<sup>(4)</sup>. قد اقترح حلاً ممكناً، حيث اعتقد أن شفرة التخصيص وآلية الترجمة كلتيهما يرتبط معاً. حيث توجد، بدايةً، شفرة جاهزة وفى حالة أولية غير مصقولة، وكذا عملية الترجمة ذاتها، تكون فى حالة مشابهة، بل تكاد تكون مؤجلة. وفى هذه المرحلة المبكرة، والتى ربما لم تكن قد ظهر بعد عدد العشرين حمضاً أمينياً، وبالتالى لم تكن الآلية قد استعانت بكفاءة الإنزيمات والمنقحة جيداً التى تستخدمها الحياة اليوم. ومن الواضح أن بعض التخصيصات الشيفرية، ستكون برهنت على سلامتها وجودتها عن غيرها، وأن أى آلية تمارس أقل نزعة للخطأ فى عملية التخصيص هذه لا شك ستقوم بتفسير أكثر الإنزيمات أهمية لها، وهو الإنزيم الذى سيحقق الفوز عن غيره من الإنزيمات. وبالتالى، فسيكون التكاثر أكثر دقة، وسيجرى شيفرته على النحو نفسه، بحيث تسود فى الخلايا الوليدة تلك الإنزيمات الصحيحة ومعها شيفرتها الخاصة بها. وفى هذا السياق، فإن تشفيراً أحسن للمهام، قد يعنى أنه سيكون قوياً ونشطاً لدرجة أنه عند مصادفته خطأ فى الترجمة، بالنسبة للحمض الأمينى الذى قد تم صنعه بالفعل، سيؤثر ذلك على الخطأ الذى سيجد صعوبة وغموضاً فى توافقه مع الحمض الأمينى. أو أنه فى حالة أن الخطأ قد يتسبب فى

صنع حمض أميني مختلف. فإنه سيكون قريباً من الحمض الأميني المقصود أصلاً، وبالتالي سينجز البروتين مهمته على الوجه المطلوب. ومن هنا، فإن تعديلات ناجحة من هذا النوع من العمليات ربما قادت للشفرة العالمية التي نراها اليوم تماماً، مثل صورة يتدرج ظهورها التام من الضبابية الكاملة إلى الوضوح الكامل.

ومن الممكن أن الشفرة، متضمنة تفسيراً أعمق. ولو أمكن رسم أو وضع قائمة بالمهام المشفرة، فإنه سيصبح ممكناً تحليلها رياضياً بحيث نستطيع معرفة ما إذا كانت بالفعل محتوية على نموذج داخلي. وكان بيتر جارفيس **Peter Jarvis** وزملاؤه بجامعة تاسمانيا **Tasmania** قد ادّعى بأن الشفرة العالمية تدعى لتتابعات رمزية أشبه بمستويات الطاقة في الجزيء النووي، وربما بالتالي تكون مرتبطة بخاصية ناعمة لجسيم دون ذري يسمى «المتناسق الفائق» **supersymmetry**<sup>(٥)</sup>. وهذا التطابق الرياضي ربما يكون صدقياً بحثاً، أو ربما يشير إلى علاقات مهمة وخافية علينا بين فيزياء الجزيئات المتصلة بالموضوع ومنظمة الشفرة<sup>(٦)</sup>.

لقد وجهت القارئ إلى تقنيات الشفرة الجينية بهدف تكوين فكرة مهمة مؤدية مباشرة للقلب من سر الحياة. وأي تغذية **input** مشفرة ستكون عبارة عن أخلاط من المعلومات غير المستخدمة ما دام لا يوجد مفسر يقوم مقام المفتاح الذي يفتح هذه الشفرة. حيث إن الرسالة للشفرة تكون جيدة فقط، عندما تكون قابلة للاستخدام عند وضعها في سياق ما مثلما نقول: «إنها تعنى شيئاً». وفي الفصل الأول قدمت التفرقة بين بناء الجمل **syntactic** وعلم دلالات الألفاظ وتطورها **semantic** في مجال المعلوماتية. ومن ناحيتها، فإن المعلومات الجينية هي مجرد «بناء جمل». أما المنفعة للمعلومات المشفرة جينياً فتتجذر في حقيقة أن الحمض الأميني يستطيع أن يفهمها. إن المعلومات الموزعة على شريط من الدنا لها صلة بيولوجية بالأمر، وعلى المستوى الحديث بلغة الكمبيوتر، فإن المعلومات الجينية هي معلومات دلالات ألفاظ.

ولكى يمكنك إيضاح هذه النقطة جيدًا، ضع فى اعتبارك الكيفية، التى تتوزع بها موضوعة القاعديات الأربع ACGT فى الدنا، وكما سبق شرحه فإن تتابعها يشبه الحروف الهجائية أو الألفبائية، ويمكنها إذن أن تتهجى شيفريًا التعليمات الخاصة بصنع البروتين. وأى ترائب آخر للحروف، سوف يكون بالتأكيد غير مفيد بيولوجيًا. وأى جزء رفيع من تتابعية ممكنة تعطى رسالة ذات معنى من الناحية البيولوجية تمامًا بذات الطريقة، التى يشكل بها تتابع معين للكلمات كتابًا له معنى<sup>(٧)</sup>. وبطريقة أخرى للتعبير عن ذلك: القول بأن الجينات والبروتينات يتطلبان درجة عالية وفائقة الدقة فى تخصيصية تعليماتها. وكما ذكرت فى قائمتى لخواص الحياة فى الفصل الأول بأن الكائن العضوى الحى لا ينحصر غموضه فى كونه فى حد ذاته معقدًا، بل لكون تعقيده قائمًا على تخصيصية ضئيلة أو رفيعة القوام جدًا. ولكى تفهم كيف برزت الحياة من اللا حياة ستكون بحاجة لكى نعرف ليس فقط كيف تركزت المعلومات البيولوجية، ولكن كيف أن المعلومات البيولوجية المفيدة قد جرى تخصيصها. باعتبار أن البيئة التى ظهر فيها الكائن العضوى لأول مرة من المفترض أنها كانت مجرد وجود عشوائى للجزيئات الأشبه بأحجار البناء. وباختصار كيف برزت المعلومات ذات المعنى مصادفة من قلب الخردة البالية غير المتماسكة؟

لقد بدأت هذا الفصل بالتركيز على الطبيعة المزدوجة للجزء البيولوجى بحيث تستطيع أن تكون فى ذات الوقت هاردوير - بالذات التشكلات ثلاثية الأبعاد - وأيضًا سوفت وير. والشفرة الجينية فقط توضح لنا أهمية الوجه المعلوماتى للجزء البيولوجى. ومهمة شرح أصل الحياة تذهب إلى أبعد من العشور على طريقة كيميائية قابلة للتصديق ولو ظاهريًا فى «الحساء» البدائى. نحن فى حاجة لأن نعرف - على المستوى المفهومى - كيف يؤدى مجرد الهاردوير لبروز السوفت وير؟

## تلقي الرسالة:

أقوم حاليًا بتحرير كتابي هذا على كمبيوتر عتيق الطراز يحمل ماركة ماكينتوش التقليدية، وله شاشة صغيرة ويحتاج إلى نقرات رقيقة لكي يعمل، وكل الكمبيوترات، فإنه مصنوع أساسًا من البلاستيك ولكن محتواه الداخلى والحاسم يشتمل على معادن وأشباه موصلات، وهذه جميعًا بالإضافة إلى الأسلاك ولوحة المفاتيح والشاشة الزجاجية تشكل ما نتعارف عليه بالهاردوير، أى الأجزاء المرئية الملموسة من الجهاز. ولكن الجهاز يصبح عديم النفع من دون السوفت وير (أى مجموعة الأوامر المكتوبة بلغة من لغات الكمبيوتر، ونضعها فى الذاكرة الرئيسية له لنقوم بتشغيل الجهاز فى اتجاه تنفيذ مهمة معينة «المترجم»)، الذى يقوده إلى ماذا سيفعل. وبالطبع، فإن الأسطوانات المدمجة ذاتها هى من قبيل الهاردوير، ولكن المعلومات المشفرة المزروعة على سطحها هى التى تهمنى. وهى المعلومات التى يجب على الآلة أن تقرأها. وبمجرد ربط السوفت وير الصحيح مع الهاردوير الصحيح، يصبح العمل جاهزًا ويمكن للبرنامج أن يدور.

والحياة قريبة الشبه جدًا من هذا. فالخلية الحية مصنوعة بدرجة كبيرة من البروتين، وهذا ما يمثل الهاردوير والغشاء المحيط بالخلية يشابه الإطار البلاستيكي للكمبيوتر، ربما أو لى أكون أكثر دقة تشابه الرقائق الميكرووية microchips، والمحفور عليها المطلوب بشكل غير مباشر. وليس من الجيد أن نلقى بكونه من البروتينات فى حاوية، ثم نتوقع بعدئذ حدوث الحياة، حتى ولو معها المواد الخام اللازمة. لأن الخلية لن تفعل شيئًا مبهرًا من دون السوفت وير اللازم. ويجئنا الإمداد به عادة من الدنا. تمامًا مثل القرص اللين floppy disk (الذى يحمل فوق سطحه السوفت وير، ويتم إدخاله فى الهاردوير لبدأ عمل البرنامج المطلوب «المترجم»). والدنا نفسه هو أيضًا من الهاردوير، ولكن الملمح الحاسم هنا ليس المادة المصنوع منها الدنا، ولكن فى الرسالة المكتوبة بواسطة قاعدياته الزوجية.



ولكن هذه الرسالة فى وسط بيئة جزيئية صحيحة - فى سياق دلالة لفظية صحيحة - ما الذى تتوقعه: إن الحياة تحدث!

وهكذا فإن الحياة عبارة عن خليط فائن ورائع من الهاردوير والسوفت وير. وما هو أكثر من مجرد التعقيد، بأنها قد أبلغت بأن تكون معقدة. ودعنى أوضح هذه النقطة الحاسمة البحتة بواسطة زوج من المشابهات. لقد كان القرن الـ ١٩ هو قرن الآلة بلا منازع، حيث تم اختراع الكثير منها. ولتأخذ الآلة البخارية على سبيل المثال: كرتان ملحقتان بروافع تتناوب الحركة التى يحددها ضغط البخار، فإذا ما زاد الضغط تدور الكرة بسرعة، بحيث من خلال قوة الطرد المركزى تدفع صماماً لكى ينفتح، وبالتالي يخف الضغط. واليوم نصف المبدأ الذى يقف وراء هذا النوع من الآلية بالتغذية المرتدة feedback، ولم نعد نجربها بالكرات، وإنما بدلاً منها نستخدم جهازاً للإحساس، سيقوم بتغذية كمبيوتر صغير أو ما يشبهه وبطريقة كهربائية، معطياً تعليماته للصمام لكى يفتح أو ينغلق عبر موتور. وسيارة زوجتى لديها شىء من هذا ليحدد كم الوقود بها وكفاءته للغرض. إنه يحدد السرعة التى يجب أن تجرى بها السيارة عندما يكون الوقود فى حالته الدنيا. والفرق بين السحب والدفع فى التحكم الميكانيكى بآلة بخارية والأسلوب الإليكترونى المذكور، هو أن الأول عبارة عن حل للمشكلة بأسلوب الهاردوير، بينما الأخير يعتمد على المعلوماتية والسوفت وير.

إن قوة السوفت وير فى أنها تقوم مقام السطح، الذى يمثل حدوداً مشتركة لحيزين، أى الفاصل بين الطباشير والجبن. أعنى تلك الأنواع المختلفة من الهاردوير التى لا يمكنها أن تتعامل بكفاءة مع بعضها البعض. قارن الصعوبة فى محاولة توجيه طائرة ورقية إلى سهولة الطيران ونعومته الذى تطير به طائرة فعلية، وذلك باستخدام موجه عن بعد «ريموت كنترول».

الفرق هنا يرجع إلى الهاردوير فى مقابل السوفت وير. إن سحب أو جر خيوط الطائرة الورقية هو شىء مباشر، ولكنها طريقة خرقاء أو

على الأقل غير رشيقة بالمرّة، لاقتران هاردوير الطائرة بهاردوير الذى يقود العملية (الشخص الواقف على الأرض). أما النظام المتعلق بالإرسال اللا سلكى والذى يقوم أولاً على تشفير التعليمات، ثم بعد ذلك يرسل هذه المعلومات بقوة أكبر لتتم ترجمتها على الناحية الأخرى، فهو نظام يعمل بكفاءة أكثر. وبالطبع يمكن وصف تدفق المعلومات من الأرض لطائرة وبلغة الهاردوير: موجات راديوية يتم توليدها من الجهاز المرسل إلى الجهاز المستقبل، حيث تحدث تيارات كهربائية من شأنها أن تثير الدوران وتحريك أجنحة الطائرة... إلخ. ومع ذلك، فإن وصف الهاردوير على هذا النحو أمر ثانوى بالنسبة لأداء الطائرة. لأن الدور الذى تلعبه الموجات الراديوية هو ببساطة أنها تصبح بمثابة قنوات للمعلومات. الموجات إذن لا تسحب أو تدفع الطائرة. وبدلاً من ذلك، فإن المعلومات المشفرة تسخر قوى أخرى أكثر فاعليه للقيام بالعمل.

إن طائرة ورقية منسمة بالحركة المتثاقلة هي (حرفياً) ميكانيزم سلكى، بينما طائرة قائمة على نظام موجى خاضع للسيطرة وأكثر كفاءة من سابقه بالطبع، هو نظام قائم على آلية المعلومات المحكومة. فى الكائن العضوى الحى نستطيع أن نرى القوة الزائدة السوفت وير أو المعلوماتية. وكيف تمت تتقيتها إلى حد لا يصدق. الخلايا ليست ذات طابع سلكى كالمطائرات الورقية. وعوضاً عن ذلك، فإن انسياب المعلومات يخلط ويزاوج بين «طباشير» أحماض الجزيئات مع «الجين» البروتين باستخدام الشفرة الجينية. بينما الطاقة المخزنة والقوى الأخرى فهى مسخرة لعبء تنفيذ التعليمات المبرمجة مثل اللا سلكى المحكوم فى الطائرة.

وباستخدام هذه الطريقة، فإن مشكلة أصل الحياة تتراجع إلى واحدة تتمثل فى كيف برز السوفت وير المشفر بالمصادفة من قلب الهاردوير. كيف حدث ذلك؟ نحن لا نتعامل هنا مع شىء بسيط يتعلق بتتقية وتكيف.

وليس فقط مجرد تضخيم أو توسيع التعقيد، ولا حتى مزاجية المعلومات، ولكن مع تغيير أساسي في المفهوم. إنها أشبه بمحاولة شرح كيف لطائرة ورقية أن تستحيل إلى طائرة قائمة على الموجات المحكومة. هل تسمح قوانين الطبيعة الحالية، وكما نفهمها، بهذا الانتقال؟ لا أعتقد أنها تسمح بذلك. ولكي ترى لماذا لا، فعلياً أن نحفر قليلاً في عمق السلوك المعلوماتي للحياة.

### شفرة داخل الشفرة:

لقد شرحت أن الحياة في مستواها الأدنى لها نفس البناء المنطقي للكمبيوتر. وهذه الحقيقة تعطينا الفرصة لأن نسبع بعض الدقة على الأفكار المزاوغة، مثل التعقيد والطابع المعلوماتي البيولوجي، وذلك بأن نلجأ إلى نظرية الحوسبة (الكمبيوتر). (وعلى القارئ ألا يعتريه اليأس، فلن أعود في ذلك للرياضيات المتقدمة). لعل من الكثير الذي يصيبنا بالحيرة والارتباك إزاء الحياة يرجع إلى الاضطراب في معنى بعض المصطلحات مثل النظام «order» والمنظمة organization والأنطروبيا entropy، والمصادفة chance، والعشوائية randomness، والمعلومات information، والتعقيد complexity. هذه الكلمات عادة ما يتم توظيفها بطريقة غير دقيقة وملتبسة، وبصفة خاصة «النظام» و«المنظمة».

ولكن أول الأمر دعنا ننظر في كلمة «العشوائية»، وسوف أستخدم في ذلك مثالاً أولياً، يتمثل في صف من الواحدات والأصفار كما يظهر في الشكل (٤-٤). ومن الواضح ألا عشوائية هناك، ولكن ثمة التكرارية. والطريقة المفيدة في التعبير عن النموذج المشاهد ذاك يكمن في مصطلحات «المعلومات» (الطريقة المزبوجة للواحد والصفر يمكن بالطبع استخدامها لتشفير المعلومات، وهذا ما يفعله معظم





وباستخدام هذه «الخوارزمية» أى برنامج الكمبيوتر فمن الواضح أن التتابع العشوائى هو أيضًا عملية تتابع لمعلومات تتسم بالثراء، لأن المعلومات لا يمكن دمجها فى صيغة بسيطة، وبالمقارنة، فإن نموذجًا غير عشوائى، مثل النموذج التكرارى فى شكل (٤-٤) يحتوى على معلومات قليلة جدًا، لأنها يمكن اختصارها فى وقت قصير (اطبع حتى ٢٥ نسخة عشر مرات). وإذا كان بيت القصيد كله من تتابع ما هو تشفير المعلومات، مثلما فى الخريطة الجينية مثلاً، فإن هذا لن يفيد، وإنما السبيل الأمثل هى العشوائية.

فى الشكل (٤-٥) يبدو صف الأحاد والأصفار فى حالة عشوائية واضحة. ولكن هل يمكننا التأكد من ذلك؟ كيف لنا أن نعرف أنه ليس ثمة نموذج صلب التركيب يكمن داخل التتابع؟ بالفعل هناك هذا النموذج. فالتتابع البادى فى الأعداد الخمسين الأولى من النسبة التقريبية ( $Pi=3.14159265$ )، يمكن التعبير عنها بشكل ثنائى. ويمكن توليدها أو إكثارها عن طريق سطور قليلة فى برمجة كمبيوترية قائمة على صيغة بسيطة. ومع ذلك فإذا كنت لا تعرف ذلك فلن تستطيع رؤية أى نموذج: التتابع كان متوافقاً مع كل الاختبارات الإحصائية المألوفة عن العشوائية. وبالتالي، فإن النسبة التقريبية باستخدام التعريف الحسابى، ليست عشوائية.

1100100100001111101101010100010001000010110100011

شكل (٤-٥)

العشوائية؟ هذا التتابع الثنائى يبدو عشوائياً، وغير معروف له أى نموذج بعد. ولكنه يحوى نظاماً مخفياً. إنها فى الواقع أرقام النسبة التقريبية التى يمكن إكثارها بعملية حسابية بسيطة. وبالتالي ليست عشوائية على الإطلاق. وبمعنى من المعانى، فإن التتابع يحوى معلومات قليلة.

حتى الآن وجهت المناقشة على نحو صارم تجاه الرياضيات؟ ماذا عن الطبيعة؟ إنه يمكننا استخدام مفهوم العشوائية الحسابية لإعطاء تعبير قوى عن فكرة «القانون». إن قانوناً طبيعياً هو في جوهره عبارة عن طريقة بسيطة لوصف (أو التنبؤ بـ) سلوك معقد وباستخدام مثال معروف جيداً: انظر لخسوف الشمس، إذا حددت بنجاح تاريخ كل خسوف ناجح وعبرت عنه بشكل ثنائي، فسيمكنك الحصول على صف من الواحدات والأصفار التي ستبدو عشوائية، ولكن ذلك سيكون مظهرًا مخادعًا. ونحن يمكننا استخدام قوانين نيوتن للتنبؤ بتواريخ الخسوف، وكل السمات الأخرى لكل المدارات الكوكبية. وقوانين نيوتن هذه هي صيغ رياضية بسيطة يمكن كتابتها كلها على كارت بريدي صغير، ومن ثم، فإن المعلومات عن كل تلك الخسوفات، بل كل من موقعي الأرض والقمر في كل يوم من أيام السنة، هي في الواقع متضمنة في مجرد حسبه قصيرة. وعليه، فإن نظام الأرض - الشمس - القمر هي معلومات فقيرة الطابع ولكنها تعرض نماذج عميقة عديدة، وكثيراً من النظم المطردة<sup>(١)</sup>.

عملية النمذجة أو النظام يتحققان في حركة الكواكب، وتمثيلها في وجود حسابيات بسيطة نيوتونية، هو في حد ذاته مثال لقانون فيزيائي. وعنها يكون القانون في حالة عمل، فإننا نعى أن وصف سلوك نظام ما ليس عشوائياً، وأن مستقبل النظام يمكن التنبؤ به بدقة بواسطة صيغة مبسطة.

ويمكننا الآن أن نرى الطبيعة الحقيقية للسر البيولوجي، حيث يظهر شكل (٤-٦) تابعاً ثنائياً مختلفاً. في هذه المرة. هو خريطة جينية للفيروس MS2<sup>(١٠)</sup>. (التهاب الكبد الوبائي ب فيروس ب)، معبراً عنه باستخدام مايلي:  $C=10$ ,  $G=01$ ,  $U=11$ ,  $A=00$ : والآن فلنسال السؤال: هل الصيغة المعبر عنها في شكل (٤-٦) عشوائية<sup>(١١)</sup>؟ أو أنه توجد صيغة حسابية بسيطة، يمكنها أن تظهرها كنتيجة output خارجة عن عملية كمبيوترية؟ وبكلمات أخرى، هل هناك شفرة داخل الشفرة الجينية (أي كتابة تُحرَّر بعد مسح الكتابة الأولى)، ويمكنها أن تكون ذات

نفوذ على الكائن العضوى؟» وأعتقد أن معظم الناس سيجيبون عن هذا السؤال بالنفى. سوف يشعرون على نحو حدسى أن التتابع هنا لا بد أن يكون عشوائيًا. لماذا؟ حسنًا افترض أنني كنت عرضت الخريطة الجينية لكائن بشرى بدلاً من الفيروس MS2. سوف يكون كريهاً أو متعارضاً أن تقترح أن القدر الأساسى من بنيتنا الجسدية والعقلية بما فيها الكثير من شخصيتنا «يمكن اختصاره إلى مجرد صيغة»، من المؤكد أن هناك ما هو أكثر من ذلك بالنسبة للكائن البشرى (بل حتى بالنسبة لفيروس) من الذى يمكن إمساكه فى عملية معالجة حوسبية كمبيوترية تافهة. تخيل أنك جسد وروح - دعنا نقول - تصبح لا أكثر من الجذر التربيعى لرقم غير مميز، ومرتبطة ككرنك (عمود الإدارة) لماكينة جزيئية تستخدم أربعة حروف هجائية.

...010001110111010010011100110101101011101110101000010...

#### شكل (٤-٦)

خريطة جينية عشوائية؟ وهذا جزء من الخريطة الجينية لفيروس MS2: والتي بالكاد يجب أن تكون عشوائية، إذا كانت تحتوى على كثير من المعلومات الجينية. الأحماض الأمينية فى البروتينات المسجلة فيها سوف تكون مرتبطة فى نظام عشوائى.

هناك أيضاً سببٌ أقل عاطفية للاعتقاد بأن الجينوم عشوائى بالدرجة الأولى. وظيفة الخريطة الجينية - بعد كل شيء تتلخص فى تخزين المعلومات الجينية. وبوجود التعقيد والتنوعية اللا محدودة تقريباً فى الأشياء الحية، ومن الضرورى أن تجعلهم يتأقلمون، ومن ثم، فلا بد أن هناك الكثير من المعلومات المتخصصة التى تحتوى عليها كل خريطة جينية. ولكن إذا كانت الخرائط الجينية وافرة المعلومات كما تتطلبها وظائفهم الحيوية، فلا بد إذن، أن تكون عشوائية، (أو بالكاد تكون كذلك)<sup>(١٢)</sup>. إن خريطة عشوائية دورية أو متكررة، على سبيل المثال، سوف تقيدها

أو تعوقها الرسالة الجينية المتكررة بشكل غير نافع، كما مسجل أصيب بعطل. ليس ثمة شفرة داخل الشفرة.

والآن أنت ربما تفكر أنه إذا كانت المنظمة العضوية عشوائية، فإن عملية نشوئها تكون بسيطة لأنه من البسيط أن تنشئ نماذج عشوائية. فقط افتح جرة ملاء بحبوب القهوة وانثر الحبوب على الأرض. وبالتأكيد الطبيعة مكتظة بعمليات، كيفما اتفق «haphazard» وتشتتية chaotic التي قد تنشئ عشوائية من الجزيئات الماكروية مثل الخريطة الجينية.

إنه سؤال جيد، ويضع علامة على نقطة أننا نواجه الطبيعة الصارمة بحق، والغامضة للحياة بطريقة قوية و صارمة. الحقيقة الأولى: الأغلبية الكبيرة من التتابعات الممكنة في حمض نووي جزيئي هو تتابع عشوائي. الحقيقة الثانية: ليس كل تتابع عشوائي يعتبر كخريطة جينية. وبعيداً عنه، في الواقع، فثمة شذرة رفيعة، رفيعة جداً، من كل تتابع عشوائي ممكن سوف تكون حتى موجهة للوظائف البيولوجية. والخرائط الجينية الوظيفية هي تتابع عشوائي، ولكن ليس أي نوع من العشوائية، إنما تنتمي إلى نوع خاص جداً جداً من التتابعات العشوائية البديلة، هي بالذات التي تقوم بتشفير المعلومات البيولوجية ذات الصلة. وكل التتابعات العشوائية ذات الطول نفسه تشفر نفس الكمية من المعلومات، ولكن جودة هذه المعلومات هي مسألة حاسمة: وفي الغالبية العظمى من الحالات، وبالتحديد عبر لغة البيولوجيا، ستكون الكتاب الكامل الأكثر تعقيداً.

والنتيجة التي نكون قد وصلنا إليها تُعدّ واضحة وعميقة في الوقت نفسه، وهي أن خريطة جينية وظيفية هي، في الوقت نفسه، عشوائية وذات خصائص تخصصية على مستوى عال، الأمر الذي يكاد يبدو متناقضاً. إنها لا بد أن تكون عشوائية لتحتوي على كمية حقيقية وجوهرية من المعلومات، كما لا بد أن تكون هذه المعلومات متخصصة ومحددة لكي تكون لها علاقة بما هو بيولوجي. والحيرة التي تواجهنا تتمثل في كيف لهذا البناء أن جاء للوجود. نحن نعلم أن المصادفة



يمكن أن نثمر عشوائية، ونحن نعلم أن القانون ينشئ مُنتجًا متخصصًا ومحددًا وتنبؤيًا. ولكن كيف لهاتين الخاصيتين أن تجتمعا أو تتضاما في عملية واحدة؟ كيف ندمج المصادفة مع القانون ليتعاونوا في إنجاز بناء عشوائى ومتخصص أو محدد معًا.

ولكى تعرف بعضًا من الفكرة عما نواجهه هنا فى هذه المناهضة، فهى مثل إفراغ حبات القهوة من الجرة، بحيث تشكل هذه الحبات فوق السطح الذى ستتتثر فوقه، نموذجًا عشوائيًا فى بدايته. وليس مجرد نموذج عشوائى قديم، ولكن نموذجًا عشوائيًا سابق تحديده، وضيق التخصص، وواضح لا لبس فيه. الهدف هنا يبدو مربعًا وهائلًا. هل يمكن لقانون فى حد ذاته ومن دون عنصر حظ كبير (كالمصادفة مثلاً) أن يفعل مثل هذا الشيء؟ هل لعشوائية محددة أن تكون المنتج المضمون لعملية تشبه القانون ومقدرة سلفاً وميكانيكية، مثال الحساء البدائى متروكة تحت رحمة القوانين المألوفة للفيزياء والكيمياء؟ لا . إنها لا تستطيع. ليس ثمة قانون للطبيعة نعرفه يسمح بإنجاز ذلك. إن الحقيقة ذات المعنى الأكثر عمقاً سوف نراها فى الفصل العاشر.

إذا كنت قد وجدت شيئاً من الدفع أو الحث فى هذه المناقشة الجارية فلا بد أنك ستكون متسامحاً مع ما تضمنته من أن الخريطة الجينية هى نوع من الإعجاز الأعجوبى. ومع ذلك، فمعظم العضلات التى أبرزتها مسبقاً تنطبق على القوة المعادلة لتطور الخريطة الجينية عبر الزمن. وفى هذه الحالة فإن لدينا حلاً جاهزاً للمناهضة نطلق عليه: «الداروينية». المتغير الإحيائى العشوائى، بالإضافة للاختيار الطبيعى هما اللذان يقدمان زناداً لتكاثر المعلومات البيولوجية بحيث تمتد خريطة جينية قصيرة، لتصبح خريطة جينية عشوائية طويلة عبر الزمن. المصادفة هى التى تُعَدُّ التغير الإحيائى، والقانون هو الذى يُعَتَّرُ شكل الانتقاء للتجمع الصحيح للعشوائية والنظام المطلوب أو الذى يحتاج إليه إنشاء «الشيء الممكن». هذا والمعلومات الضرورية، وكما رأينا، تأتى من البيئة المحيطة.

والآن فإن التطور الدارويني هو عملية طويلة وشاقة على الحياة أن تناضل بقوة لكي تُحكّم وتتقن هذه «البركة» من الجينات على هذا النحو. ولكن ماذا عن الخريطة الجينية الأولى؟ هل كانت بدورها نتاجًا لعملية تطور مشابهة جرت بقوة؟ أو أنها عملية، جاء تعقيدها هكذا من دون مقابل؟ يعلم علماء الكمبيوتر عن معضلات كمبيوترية معينة يتعذر إنقاص تعقيدها، بما يعنى أنها لا يمكن اختزالها لمنتج أبسط وأكثر أناقة. ومن أشهرها المسألة المعروفة بمعضلة مندوب المبيعات المتجول، والمتضمنة أن يجتاز الرجل أقصر الطرق لمجموعة من المدن، شريطة ألا يزور إحداها أكثر من مرة. معضلة مثل هذه تصبح عسيرة على الحل أو المعالجة عن طريق العمليات الكمبيوترية، ليس لأنها غير قابلة للحل، ولكن بسبب كمية العمليات الحوسبية المطلوبة التي تتصاعد بالحد في حجم المشكلة (نسبة إلى كم المدن الموجودة في المثال)<sup>(١٣)</sup>.

ويظهر أن عملية التقدم المعلوماتية التي نحتاج إليها لتكاثر الخريطة الجينية ربما تصبح من العسير معالجتها كمبيوتريًا. وتصنيف أو اختيار نوع معين من التتابع العشوائي من التتابعات الممكنة يعد نوعًا من الترويع كعملية ترحال مندوب المبيعات الذي عليه أن يزور مليون مدينة. والتي تطلق المتناقضة المركزية للنشوء الإحيائي في المراحل الزمنية التالية. وبمعرفتنا أن الأمر يتطلب حوسبة كمبيوترية طويلة وقاسية (مثل تتابع لخطوات تقدمية معلوماتية)، لكي تتطور خريطة جينية من الميكروب إلى الإنسان، هل تستطيع الخريطة الجينية لميكروب (مع احترامنا الكامل له) أن تأتي للوجود عبر عملية كمبيوترية طويلة وقاسية؟ كيف، وقبل أن يجيء طور أو حقبة التطور الدارويني، يستطيع نوع خاص جدًا من المعلومات أن يبرز مكتسحًا أمامه بيئة غير حية ثم يتموضع، مودعًا نفسه في شيء كالخريطة الجينية.

ومن خلال الاستضاءة بنور نظرية الحوسبة الكمبيوترية، فإن معضلة النشوء الإحيائي تبدو محيرة تمامًا كما تبدو أمام عيني الفيزيائي والكيميائي. والصعوبات

ليست تقنية تمامًا. ثمة مشاكل فلسفية غائمة في الأفق أيضًا. مفاهيم مثل «المعلومات» «السوفت وير» لا تأتي من العلم الطبيعي على الإطلاق، ولكن من نظرية الاتصالات (انظر الفصل الثاني)، وهي تتضمن أشياء ذات جدارة مثل سياقات وأحوال من التوصيفات والأفكار الغربية تمامًا عن وصف الفيزيائيين للعالم.

وبعد، فمعظم العلماء أيدوا المفاهيم المعلوماتية وشرعية تطبيقها على الأنظمة البيولوجية، ورحّبوا بالتعامل مع معلومات علم دلالات اللغة كما لو كانت كميات من الطاقة. ومن سوء الحظ أن الـ «معنى» يبدو كما لو كان قريبًا من «الغرض»، وهو موضوع «تابو» (أى مقدس لا يتوجب المساس به) مطلق في البيولوجيا. وهكذا تركنا مع التناقض، الذى تحتاج استعماله أو تخصيصه للمفاهيم النابعة من الأنشطة البشرية الهادفة (الاتصالات، والمعنى، السياقات، علم دلالات اللغة) للعمليات البيولوجية، التى تبدو بالتأكيد هادفة، وهى فى الحقيقة ليست كذلك (أو ليس مفترضًا أن تكون كذلك).

ثمة خطورة واضحة فى علم التخطيط أو وضع خطة لمستويات الطبيعة المدركة والمشتقة من عالم الشئون البشرية. كما لو كانت جوهرية أو حقيقية للطبيعة ذاتها. وبعد كل شيء، فإن الكائنات البشرية هى نتاج للطبيعة ولو أن للبشر هدفًا، فحينئذ ولمستوى معين، تكون الغرضية أو «الهدفية» قد ظهرت بدورها من الطبيعة، وبالتالي توارثت فيها. ولو أن خاصية «الهدفية» تلك قد ظهرت فقط، متصلة بمستوى عالٍ من النوع الإنسانى العاقل، أم أنها فى الحيوانات الأخرى أيضًا؟ متى سعى الكلب وحفر الأرض بحثًا عن عظام مدفونة فيها؟ هل الرغبة فى أن يسترد هذه العظام؟ وكيف اقتربت أميبيا وغمست أو غمرت جزءًا صغيرًا من الطعام. وهل كانت تنوى ابتلاعه؟ وربما كانت «الهدفية» هى خاصية حقيقية للطبيعة على مستوى النسيج الخلوى أو ربما على مستوى النسيج الخلوى الثانوى؟ ليست ثمة أجوبة متفق عليها عن هذه الأسئلة<sup>(١٤)</sup>. ولكن لا أهمية لأصل الحياة ولا يكتمل تقديره دون إعلان تلك الأسئلة.



## الهوامش

(١) من المعروف أن هناك حدودًا أساسية لما يمكن اكتشافه فيما يتعلق بالنظم الأساسية. على سبيل المثال فإن لا يقينية هايزنبرج كمبدأ في ميكانيكا الكم تمنع معرفة موقع وحركة الذرة في وقت واحد. وعلى ذلك فهناك لا إمكانية أساسية للنفاذ إلى الطبيعة على مستوى الذرة. وربما يكون سر أصل الحياة هو الآخر مما لا يمكن النفاذ إليه؟ والفيزيائي نيلز بور Niels Bohr أحد مؤسسي ميكانيكا الكم اعتقد هذا المنحى في إحدى المرات، وانتهى إلى أن الحياة ربما تخفى سرها عنا بنفس الطريقة التي تخفى الذرة عنا سلوكها. «ومن منطلق هذه النظرة، فإن وجود الحياة يجب أن نعتبره كحقيقة مبدئية لا يتسنى شرحها» وهذا بنص تعبيره. انظر: الضوء والحياة "Light and Life" ل: نيلز بور (1933) (Nature 131, 421 and 457).

(٢) يصادف أن عدد الأحماض الأمينية المستخدمة يصل إلى واحد وعشرين حمضًا.

(٣) التحولات الرئيسية في التطور «The Major Transitions in Evolution» ل: جون ماينارد سميث John Maynard- Smith وإيروس ساثماري Eörs Szathmáry.

(Freeman, Oxford and New York 1995, p. 81).

(٤) تطور الشيفرة الجينية «Evolution of the genetic code» ل: كارل ووز Carl Woese.

(Natur Wissen Schäften 60, 447 (1973)).

(٥) يمكن العثور على اعتبار تقني في: نموذج فائق النظامية لتطور «الشيفرة الجينية» "A" "Supersymmetric Model for the Evolution of the genetic code" ل: ج. د. باشفورد "J.D. Bashford" وآي. تسوهانتجيز "I. Tsohantjis" و ب. د. جارفيز P.D. Jarvis.



(Proceedings of the National Academy of Science USA 95, 987 (1998)).

(٦) ثمة دليل ظرفي مثير للاهتمام، ظهر مؤخرًا عن رابطة أخرى بين الشفرة الجينية والفيزياء الأساسية. وهو اكتشاف باتل "Patel" أن حساب جروفر Grover في الحوسبة الكمية يرجع الأرقام ٣، ٤، ٢٠ وقد ناقشت هذه المسألة باختصار في المقدمة.

(٧) مما يثير الاهتمام ما يظهر من أن ثمة تتابعات أو نتائج تبعية عشوائية في الدنا والتي تعرف – ولسبب واضح – بأنها نفاية الدنا، والتي لا تقوم بأي دور حاسم.

(٨) انظر على سبيل المثال: المعلومات والعشوائية في اللا تمامية، أبحاث عن نظرية المعلومات الحسابية لـ: جريجاري شاتان "Gregary Chaitin".

(Second edition, Word Scientific Press, Singapore 1990) ويقوم عمل شاتان

على أفكار سابقة لـ: إيه. ن. كولموجوروف «A.N. Kolmogorov» وراى سولومونوف «Ray Solomonoff» ويمكن الاطلاع على هذه الأعمال المبكرة في: مقدمة في التعقيد لـ:

كولموجوروف وتطبيقاته "An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications" لـ: منج لى "Ming Li" وبول فيتانيى "Paul Vitanyi".

(Springer- Verlag, New York 1997).

(٩) ربما يكون تعبير «النظم المشوشة Chaotic Systems» وهى أمثلة على النظم التى يكون سلوكها بالضرورة عشوائيًا، وبالتالي لا يصبح الانضغاط الحسابى ممكنًا معها.

(١٠) بعض الفيروسات يستخدم الرنا أكثر من الدنا (انظر الفصل الخامس). وهذا مثال واحد تم استقاؤه من: المعلومات وأصل الحياة "Information and the Origin of Life" لـ: بيرند- أولاف كوبرز "Bernd- Olaf Küppers".

(MIT Press, Cambridge, Mass. 1990, p. 101).

(١١) معظم النظم الجينية لن تكون بالطبع متتابعات عشوائية بالكامل، إذا كان السبب فقط يرجع لقواعد الترقيم فى الشيفرة الجينية. بالإضافة إلى أن العدد الوافر من الدنا ربما يتضاعف أو

ينقلب رأسًا على عقب، خاصة في نوع الإيكاريوت<sup>(\*)</sup> "Eukaryotes". ومع ذلك يمكننا أن نبعد هذه العاديات المنتظمة الكثيرة والبسيطة في أن معًا، ويظل السؤال عما إذا كان المتبقى عشوائيًا. ولم يسبق إدراك نموذج نظامي داخل تعاقبات البروتين التخصصي الفردي.

(١٢) كان شروينجر "Shrödinger" واضحًا عندما وضع حدسًا بأن النظام الجيني لا بد أن يحتوى على «بلورة لا نظامية في حدوثها»: ووضع مقارنة بين بلور عادي ونموذج ورق الحائط، وأبدى ملاحظته بأن النظام الجيني كان أشبه كثيرًا بنسيج مطرز كثير النقوش. انظر: ما الحياة؟ "What is Life؟" لـ: إروين شروينجر "Erwin Shrödinger".

(Cambridge University Press, Cambridge 1944, p. 64).

وهناك أيضًا مناقشة واضحة للغاية في التفرقة بين النظام والتنظيم أو المنظمة، ومشملة على تقدير تفصيلي عن لماذا يكون النظام الجيني عشوائيًا ومتخصصًا في الوقت نفسه، تجدها في: نظرية المعلومات والبيولوجيا الجزيئية "Information Theory and Molecular Biology" لـ: هوبرت يوكي "Hobert Yockey". (Cambridge University Press, Cambridge 1992).

(١٣) وعلى نحو أكثر تحديدًا، فمن المعتقد (وإن لم تتم البرهنة عليه على نحو دقيق) أن مشكلة «البائع الجوال» تنتمي لطراز المشكلات الكمبيوترية والتي لا يمكن حلها في إطار ما يسمى الزمن كثير الحدود "Polynomial". لأن كثيرًا من المشكلات الكمبيوترية يظهر فيها زمن الحوسبة، إما كجزء من التعقيد وإما كوظيفة زمنية له متعددة الحدود. وهناك مشكلات أقل تعقيدًا ربما تتطلب، على سبيل المثال، زمنًا جاريًا ذا طابع أسي.

(١٤) ثمة رد إيجابي حول مستوى العضويات ذات الخلية الواحدة تجده في: التماسك الكمي في الكائنات الأنبوبية المايكروية: أساس عصبي لظهور الوعي "Quantum Coherence in Microtubules: a Neural basis for emergent consciousness" لـ: ستيوارت هاميروف "Stuart Hameroff".

(Journal of Consciousness Studies, 1, 91 (1994)).

---

(\*) الكائنات ذات الأنوية الحقيقية، حيث توجد بها نواة مغطاة بغشاء نووي وتوجد خارج تلك الأغشية المكونات الخلوية، وهي عادة خلايا الكائنات الأولى في الوجود. (المترجم).